

02 P 173 07

B10

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer:

(11) Publication number:

(11) Numéro de publication:

**EP 1 145 088 A0**

Internationale Anmeldung veröffentlicht durch die  
Weltorganisation für geistiges Eigentum unter der Nummer:

**WO 00/42480 (art. 158 des EPÜ).**

International application published by the World  
Intellectual Property Organisation under number:

**~~WO 00/42480 (art. 158 of the EPC).~~**

Demande internationale publiée par l'Organisation  
Mondiale de la Propriété sous le numéro:

**WO 00/42480 (art. 158 de la CBE).**

THIS PAGE BLANK (USPTO)



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 7 :

G05B 19/418

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/42480

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum:

20. Juli 2000 (20.07.00)

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/DE00/00144

(22) Internationales Anmeldedatum: 17. Januar 2000 (17.01.00)

(30) Prioritätsdaten:

199 01 410.8	15. Januar 1999 (15.01.99)	DE
199 01 486.8	17. Januar 1999 (17.01.99)	DE
199 02 795.1	25. Januar 1999 (25.01.99)	DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 Muenchen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): OECHSNER, Richard [DE/DE]; Woernitzstrasse 17, D-90449 Nuernberg (DE). TSCHAFTARY, Thomas [DE/DE]; Rudolf-Breitscheid-Strasse 16, D-90762 Fuerth (DE). STRZYZEWSKI, Piotr [DE/DE]; Am Speenbruch 2, D-52134 Herzogenrath (DE). PFITZNER, Lothar [DE/DE]; Spardorferstrasse 57, D-91054 Erlangen (DE). SCHNEIDER, Claus [DE/DE]; Am Sandberg 33, D-91088 Bubenreuth (DE). HENNIG, Peter [DE/DE]; Finkenweg 3, D-99198 Vieselbach (DE).

(74) Anwalt: LEONHARD, Reimund; Leonhard Olgemöller Fricke, Postfach 10 09 57, D-80083 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

## Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.

(54) Title: QUALITY SURVEILLANCE OF A PRODUCTION PROCESS

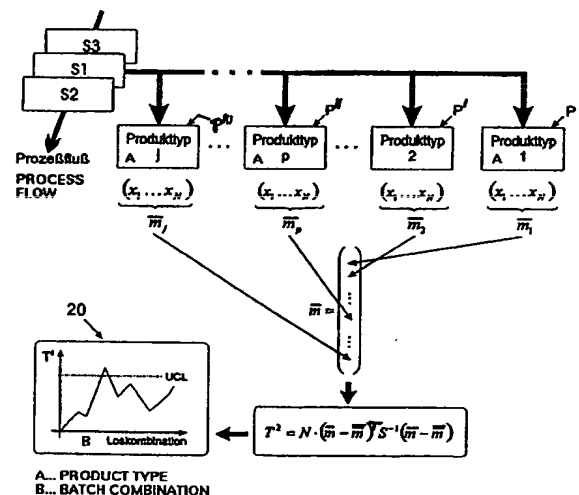
(54) Bezeichnung: QUALITÄTSÜBERWACHUNG BEI EINER FERTIGUNG

## (57) Abstract

The invention relates to a method for surveying the quality of a number of technical product types (P, P', P'') which are produced in a quasi-parallel production process. The aim of the invention is to represent a number of process data obtained from the process with as much of an overview as possible rather than surveying each individual parameter to be controlled with its own representation. To this end, the quasi-parallel production of various product types is surveyed by calculating an average from measured values of a technical product parameter from a sample of a first product type in a production station (S1) and storing this average in a multidimensional averages vector in the form of a scalar. At the end of a fixed interval of time (T1), the multidimensional average is converted into a state value (T<sup>2</sup>) for the production of several product types in the production station. Several averages from the production process can influence individual scalars of the multidimensional average during the fixed interval of time. The state variable can be calculated using a T<sup>2</sup> Hotelling statistic.

## (57) Zusammenfassung

Die Erfindung befaßt sich mit einem Verfahren zur Überwachung der Qualität einer Vielzahl von technischen Produkttypen (P, P', P''), die in einem quasi-parallelen Fertigungsprozeß hergestellt werden. Es geht der Erfindung darum, nicht jeden zu kontrollierenden Parameter in einer eigenen Darstellung zu überwachen, sondern eine Vielzahl von aus dem Prozeß gewonnenen Prozeßdaten möglichst übersichtlich darzustellen. Hierzu schlägt die Erfindung für die quasi-parallele Fertigung von verschiedenen Produkttypen vor, aus einer Stichprobe eines ersten Produkttypes in einer Fertigungsstation (S1) aus Meßwerten eines technischen Produktparameters einen Mittelwert zu berechnen und diesen Mittelwert in einen mehrdimensionalen Mittelwertvektor als ein Skalar einzuspeichern. Der mehrdimensionale Mittelwert wird erst nach Ablauf einer festgelegten Zeitspanne (T1) in einen Zustandswert (T<sup>2</sup>) für die Fertigung der mehreren Produkttypen in der Fertigungsstation umgerechnet. Während der festgelegten Zeitspanne (T1) können nacheinander mehrere Mittelwerte aus dem Fertigungsprozeß Einfluß auf einzelne Skalare des mehrdimensionalen Mittelwertes nehmen. Die Zustandsgröße kann anhand einer T<sup>2</sup>-Hotelling-Statistik errechnet werden.



# **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

## Qualitätsüberwachung bei einer Fertigung

In jeder Fertigung muß die Qualität der gefertigten Produkte überwacht werden. Hierbei wird die statistische Prozeßkontrolle zur Qualitätssicherung und –verbesserung bzw. zur Überwachung der Fertigungsprozesse eingesetzt. Grundsätzlich gibt es zwei Anforderungen an eine Qualitätsüberwachung:

- Der Maschinenbediener in der Fertigungslinie braucht eine schnelle Entscheidungsgrundlage, nach der er das gerade gefertigte und gemessene Los beurteilen kann.
- Der Qualitätsbeauftragte möchte einen schnellen und umfassenden Überblick über die Fertigungsprozesse und die Qualität aller gefertigten Produkte. Dieser Überblick muß nicht on-line sein, sondern soll vielmehr auch langfristige Trends aufzeigen und die Entscheidungsgrundlage für Prozeßänderungen oder Fehleranalyse bilden.

Bisher muß **jeder zu kontrollierende Parameter** eines Produktes mit Hilfe **einer eigenen** Darstellung, z. B. einer Kontrollkarte überwacht werden. Nachdem ein Produkt viele Fertigungsschritte durchläuft, benötigt man viele Kontrollkarten. Durchlaufen viele verschiedener Produkte (Produkttypen) die Fertigungslinie, so ergeben sich besonders viele Kontrollkarten, die ausgewertet werden müssen. Hierzu existieren verschiedene, ~~mit Hilfe von Rechnern realisierte Ansätze, die die vielen Karten automatisch auf~~ Kontrollgrenzenüberschreitung überwachen und versuchen die großen Datenmengen möglichst übersichtlich darzustellen. **Figur 2** zeigt dazu einen Fertigungsprozeß aus einer Abfolge von Prozessen (Prozeßfluß), der von  $j$  verschiedenen Produkttypen ( $p=1...j$ ) durchlaufen wird, wobei für jeden Produkttyp "P" eine Einzelkarte (z.B. eine Shewart-Karte gemäß **Figur 6**) aufgestellt wird. Dieses Vorgehen hat einige prinzipbedingte Nachteile:

- Die u.U. sehr große Anzahl von Einzelkarten kann nicht mehr übersichtlich visuell dargestellt werden. Es gibt keine Darstellungsweise mit der die Überwachung der gesamten Qualität aller technischen Produkte der Fertigungslinie möglich ist.
- Besitzen die verschiedenen Produkttypen z. B. eine hohe positive Korrelation und führt man die Prozeßüberwachung mit Hilfe mehrerer Einzelkarten durch, so kann nicht mehr hinreichend sicher festgestellt werden, ob sich der Fertigungsprozeß noch unter statistischer Kontrolle befindet: Liegen Stichprobenmittelwerte der verschiedenen Produkttypen innerhalb der Kontrollgrenzen sehr viel weiter auseinander als es die hohe Korrelation erwarten läßt, so befindet sich der Fertigungsprozeß mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht mehr unter statistischer

Kontrolle, obwohl keine Grenzüberschreitung von einem der Produkte signalisiert wird.

Es geht der Erfindung also **um das Problem**, eine Vielzahl von verschiedenen (mehreren) Produkttypen bei quasi-paralleler Fertigung statistisch überwachbar zu halten, die entstehenden Datenmengen übersichtlich darzustellen und die Aussagekraft der Messungen zu erhöhen.

Zur Lösung dieses Problems wird Anspruch 1, 12 oder 14 vorgeschlagen.

Die Mehrproduktkontrolle erfolgt durch eine Darstellung eines Zustandsgrößenverlaufs, mit dem in Fertigungen mit hoher Produkttypenanzahl (z.B. der ASIC-Herstellung) die Fertigungsprozesse und die Qualität der gefertigten Produkte schnell und übersichtlich kontrolliert werden können. Sie erlaubt es, in jedem Fertigungsschritt die Qualität **aller** diesen zumindest einen Fertigungsschritt durchlaufenden Produkttypen zusammen zu überwachen und übersichtlich darzustellen. Während der festgelegten Zeitspanne werden Meßwerte aus der Fertigungsstation gesammelt und erst nach Ablauf dieser Zeitspanne zu einem verbindlichen Zustandswert in der Darstellung.

Für die gleichzeitige Überwachung der vielen Produkte kann die Mehrproduktkontrolle (zur Kontrolle der Produktmittelwerte) eingesetzt werden. Die Darstellung bildet den ~~statistischen Zustand des Fertigungsprozesses aussagekräftig ab.~~

Mit der Erfindung wird es möglich, in Fertigungen mit hoher Produktanzahl (breitem Produktspektrum) die Qualität aller einen jeweiligen Fertigungsschritt durchlaufenden Produkte schnell und zuverlässig zu überwachen und die qualitätsrelevanten Daten übersichtlich visuell darzustellen. Dabei eignet sich die Mehrproduktkontrolle auch sehr gut zur längerfristigen Beurteilung der Qualität und als Entscheidungsgrundlage für evtl. langsame Änderungen an den Fertigungsprozessen.

Die statistische Grundlage für die Mehrproduktkontrolle bildet die in der Literatur bekannte  $T^2$ -Hotelling Statistik. Diese wird hier zur Überwachung eines technischen Parameters für sehr viele "quasiparallel" gefertigte technische Produkttypen (z.B. in der Halbleiterfertigung) angewendet (Anspruch 12).

Die Qualitätsüberwachung mit Hilfe der  $T^2$ -Mehrproduktkontrolle bietet im Vergleich mit dem Stand der Technik bedeutende Vorteile:

- Es steht eine schnelle und zuverlässige Aussage über den statistischen Zustand des technischen Fertigungsprozesses zur Verfügung.
- Da Korrelationen, die zwischen verschiedenen gestalteten Produkten bestehen können, bei der Darstellung mit berücksichtigt werden, ist eine statistisch eindeutige Aussage unabhängig von der Stärke der Korrelationen möglich.
- Die Qualität **aller** in dem Fertigungsprozeß gefertigten Produkte kann **übersichtlich** dargestellt werden.
- Eine zeitlich komprimierte Darstellung erlaubt Langzeit-Qualitätsmanagement und –überwachung, insbesondere die Erkennung von Trends im Fertigungsprozeß.

Das Verfahren verwendet die Mittelwerte einer Stichprobe der in ihrem Fertigungszustand veränderten Produkte. Dieser Mittelwert wird als Teil eines mehrdimensionalen Mittelwertes plazierte. Der mehrdimensionale Mittelwert ist zwar jederzeit in einen Zustandswert umrechenbar, wird aber erst nach einer festgelegten Zeitspanne in einen solchen verbindlichen Zustandswert umgerechnet, der entweder an einem Sichtschirm oder graphisch dargestellt wird. Die festgelegte Zeitspanne ergibt sich aus dem Fertigungsprozeß. Sie ist entweder eine maximale Zeitspanne (Anspruch 2), sie kann sich aber auch daraus ergeben, daß ein Produkttyp der ersten Typenanzahl erneut in der überwachten Fertigungsstation eine physikalische Änderung erfahren soll. ~~Dann würde dasselbe Produkt zwei gemessene Mittelwerte ergeben und~~ bevor dieses geschieht, wird der sich bis dahin aufgebaute mehrdimensionale Mittelwert in einen verbindlichen Zustandswert umgerechnet. Ein weiteres Kriterium kann die festgelegte Zeitspanne vorgeben. Sind alle überwachten Produkttypen schon in der überwachten Fertigungsstation physikalisch verändert worden, so kann ebenfalls ein verbindlicher Zustandswert errechnet werden, nachdem kein weiterer gemessener Mittelwert mehr zur Vervollständigung aller Produktmittelwerte in dem mehrdimensionalen Mittelwert benötigt wird. Dieser Aspekt ist aber ein Unterfall des zuvor genannten Kriteriums; die nächste Anforderung eines Produkttypes in der überwachten Fertigungsstation würde ohnehin das zuvor genannte Kriterium erfüllen und das Berechnen des verbindlichen Zustandswertes auslösen.

Es ergibt sich, daß ein Berechnen des Zustandswertes auch häufiger geschehen kann (Anspruch 10), jedes Mal dann, wenn ein neuer Produktmittelwert zu dem mehrdimensionalen Mittelwert hinzutritt. Dieser Wert bleibt hypothetisch, er wird nicht in den verbindlichen Verlauf der Zustandsgröße eingetragen.

Ändert sich die Anzahl der überwachten Produkttypen, also die „erste Typenanzahl“, so muß ein neuer Initialisierungslauf erfolgen. Die Dimension der verwendeten Vektoren ändert sich dabei, ebenso wie die angenommenen Produktmittelwerte (Anspruch 11).

Die angenommenen Produktmittelwerte sind diejenigen Werte, die aus Vorlaufrechnungen für einen jeweiligen Produkttyp ermittelt werden (Anspruch 9, Anspruch 3). Ein Produktmittelwert ersetzt in beschränktem Umfang einen gemessenen Mittelwert in dem mehrdimensionalen Mittelwert (Mittelwertvektor). Ist bei der Berechnung, oder bei Bevorstehen einer Berechnung des Zustandswertes ein Produkt in dem überwachten Fertigungsprozeß nicht physikalisch verändert worden, so wird sein Produktmeßwert (der aus Meßwerten bestehende Produktmittelwert) durch den vorgegebenen Produktmittelwert ersetzt. Der Mittelwert führt bei einer verwendeten Subtraktion (Anspruch 3) dazu, daß dieses Produkt mit Meßwerten in die Zustandsgröße als Einzelpunkt nicht eingeht, also neutral bleibt.

Der Verlauf der Zustandsgröße mit seinen punktwise aufgetragenen Zustandswerten wird mit einem Grenzwert verglichen (Anspruch 7), um ein Signal auszugeben.

Die Mehrproduktkontrolle, die zuvor und später erwähnt wird, bezieht sich auf die Darstellung der technisch gemessenen Daten aus dem Fertigungsprozeß in einer übersichtlichen Weise. Die bildliche Darstellung kann auf mehrere Weisen erfolgen, es kann ein Oszillogram oder eine graphische Darstellung gewählt werden, ebenso kann die Darstellung auf einer Karte eingetragen werden oder von einem Drucker ausgedruckt werden. Allein die Darstellung selbst beeinflusst in ihrer Art und Weise nicht das technische Konzept, das von technischen Meßgrößen eng an technischen Prozeß angelehnt seinen Ausgang, Verlauf und Ergebnis zeitigt. Die Erfindung ist bereits dann fertig oder abgeschlossen, wenn die bildliche Darstellung, ausgedruckt, angezeigt oder eingetragen vorliegt, ihre (menschliche) Bewertung selbst ist außerhalb des erfindungsgemäßen Erfolges. Es kommt auf menschlich qualifizierende Einflußnahmen also nicht an, diese liegen vielmehr erst nach der fertigen Erfindung.

**Figur 1** veranschaulicht ein Beispiel einer Mehrproduktüberwachung gemäß der Erfindung.

**Figur 2** zeigt die übliche Vorgehensweise bei der Aufstellung von Shewart-Karten in einem Beispiel.

**Figur 3** zeigt Beispiele für die Zeitpunkte der Mehrproduktkontrolldarstellung.

**Figur 4** ist eine Darstellung der Messung in einem Fertigungsprozeß S1.

**Figur 5** verdeutlicht eine Ablaufsteuerung zur Figur 1.

**Figur 6** ist eine Shewart-Karte.

**Figur 7,**

**Figur 8** sind lineare und logarithmische Darstellung der von mehreren Produkten stammenden Zustandsgröße  $T^2$ , hier aufgezeichnet auf einer Karte.

In Übersicht dargestellt, zeigt **Figur 2** eine Prozeßüberwachung im Prozeßfluß mit den sequentiell aneinandergereihten Schritten S3, S1 und S2 (sowie ggf. weiterer Schritte) und die Überwachung von mehreren Produkttypen, wobei die Produkttypen mit P, P', P'' und P''' bezeichnet sind, hier mit einer Laufvariablen  $p = 1, 2, \dots, p, \dots, j$ . Jeder Produkttyp hat einen „Produktmittelwert“, der aus einer Stichprobe des Produktes errechnet wird, die mehrere Meßwerte  $x$  liefert. Die mehreren Meßwerte  $x_1, \dots, x_N$  ergeben einen Mittelwert  $\bar{m}_p$ . Für jeden Produkttyp wird eine Kontrolldarstellung gewählt, die über der Los-Nummer (dem Losdatum) aufgezeichnet ist. Werden mehrere Parameter eines Produktes überwacht, wird für jeden Parameter eine solche Darstellung erzeugt. Der Vergleich der Produktmittelwerte mit den Kontrollgrenzen ergibt die statistische Überwachung des Prozeßflusses, ersichtlich ist aber, daß bei 10 Produkttypen mit jeweils 3 Parametern schon 30 Kontrollkarten geführt werden müssen und die Auswertung immer schwieriger wird, je mehr Produkte und Parameter überwacht werden. Die in Figur 2 gezeigten Darstellungen sind vergrößert in einem Beispiel in **Figur 6** ersichtlich. Die dort dargestellte Shewart-Karte zeigt die auf Stichproben beruhenden Mittelwerte über der Zeitachse, die als Losdatum benannt ist. Jeweils ein Punkt ergibt sich dann, wenn eine physikalische Beeinflussung des spezifischen Produktes oder des spezifischen Parameters erfolgt ist. Deshalb ist die Zeitachse nicht äquidistant, sie ist aber daran gebunden, daß immer eine Veränderung des überwachten Parameters stattgefunden hat und dann sogleich ein zugeordneter Punkt auf der Abszisse erstellt wird. Die Verbindung der Punkte gibt den Verlauf einer Zustandsgröße  $x$ . Die Darstellung zeigt die Verbindung der punktwise aus dem Prozeß errechneten Mittelwerte. Dieser Mittelwertverlauf wird verglichen mit einer

oberen Grenze  $U_{CL}$  und einer unteren Grenze  $L_{CL}$ , die strichliniert eingetragen sind. Zum Datum des 3. Juli (vorletzter Punkt an diesem Datum) überschreitet der Mittelwert die obere Grenze.

- 5 **Figur 1** zeigt das Verfahren, das hier vorgeschlagen wird und das im folgenden erläutert wird. Hier wird ein gemeinsamer Mittelwert  $\bar{m}$  berechnet, indem Produktmittelwerte  $\bar{m}_p$  der einzelnen Produkttypen gemeinsam Einfluß nehmen, um gemeinsam einen Punkt im Zustandsverlauf zu ergeben. Ohne weiteres ersichtlich ist, daß aus den vier dargestellten Produkttypen der Figur 1 nur eine Darstellung 20 eines  
10 Zustandgrößenverlaufes ermittelt wird und die Übersicht auch bei breitem Produktspektrum (großer Produktanzahl) erhalten bleibt.

- Der Prozeßfluß, der in Figur 1 gezeigt ist, ergibt sich in einer schematischen Darstellung auch aus **Figur 3**. Dort sind die einzelnen Produkttypen mit Kreisen  
15 unterschiedlichen Durchmessers gekennzeichnet. Die dort dargestellten Produkttypen 1 bis 5 durchlaufen einen Fertigungsschritt S1.

- Vor Beginn der Mehrproduktkontrolle wird ein meßbarer Produktparameter, der mit Hilfe  
20 ~~der Mehrproduktkontrolle überwacht werden soll, festgelegt. Dieser muß nach einem~~  
technologischen Prozeßschritt für alle zu kontrollierenden Produkte meßtechnisch erfaßbar sein. Mögliche Produktparameter sind z.B. Strukturbreiten  $d_1, d_2$ , Schichtdicken  $b_1$ , Konzentrationen etc. **Figur 4** zeigt die Meßeinrichtungen 14 an der Station S1 der Fertigung. Die Meßeinrichtung 14 ist bildlich der Fertigungsstation S1  
25 nachgeordnet, soll aber zum Ausdruck bringen, daß sie der Meßstation S1 so zugeordnet ist, daß es um die Messung der genannten Produktparameter geht, die natürlich erst dann gemessen werden können, wenn sie von der Station S1 physikalisch verändert worden sind. Die physikalische Veränderung setzt den Abschluß  
30 zumindest einer Veränderung in dieser Station voraus, so daß die Messung prozeßlogistisch "nach Durchlauf durch diese Fertigungsstation" erfolgt. Der konkrete Aufbau der Messung selbst kann auch in der Fertigungsstation S1 selbst integriert sein, also durch integrierte Meßtechnik 14 realisiert sein. Die bildliche Darstellung in Figur 4 bringt dabei nur den logischen Ablauf zum Ausdruck, nicht den konkreten meßtechnischen Aufbau.

- 35 Nachdem ein Produkt bzw. mehrere Produkte eines Typs den zu überwachenden Fertigungsschritt S1 durchlaufen haben und physikalisch verändert wurden, wird eine Stichprobe gezogen, d.h. auf einem oder verschiedenen Wafers werden N

Stichprobenmessungen  $m_1 \dots m_N$  vorgenommen. Aus diesen N Stichprobenmessungen wird der Stichprobenmittelwert  $\bar{m}_p$  für dieses Produkt gebildet:

$$\bar{m}_p = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_N}{N} \quad \text{Gl. 3.1.2}$$

Für jedes nachfolgend gefertigte Produkte wird ebenso verfahren und der für jedes Produkt charakteristische Stichprobenmittelwert  $\bar{m}_p$  bestimmt, der als Produktmittelwert eines Produkts angenommen wird.

Nachdem die Produkte i.A. nicht gleichzeitig gefertigt werden, man jedoch trotzdem eine komprimierte und übersichtliche Darstellung 20 haben möchte, wird ein Zeitraum T1 festgelegt, in dem die gefertigten Produkte zusammenfaßt und als "gleichzeitig gefertigt" betrachtet werden. Mit seiner Hilfe kann die Darstellung an unterschiedliche Fertigungsdichten angepaßt werden. Der Zeitraum ist nicht konstant, wird aber für die Meßwerte  $T_a, T_b, T_c$  als konstant dargestellt.

Alle Produkte, die in der Mehrproduktkontrolle berücksichtigt werden sollen, werden mit ihren Mittelwerten zum Vektor  $\bar{m}$  zusammengefaßt. Wird ein Produkt innerhalb des entsprechenden Zeitraums in einer Station nicht bearbeitet, so wird für seinen Stichprobenmittelwert  $\bar{m}_p$  ein bekannter Produktmittelwert  $\bar{\bar{m}}_p$  eingesetzt. Für den Vektor  $\bar{m}$  ergibt sich allgemein für j Produkte:

$$\bar{m} = \begin{bmatrix} \bar{m}_1 \\ \bar{m}_2 \\ \vdots \\ \bar{m}_p \\ \vdots \\ \bar{m}_j \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 3.1.3}$$

$\bar{m}_p$ : Stichprobenmittelwert des p-ten Produkts  $p=1,2,\dots,j$ , auch als Produktmittelwerte bezeichnet. Die mehrdimensionale Darstellung aller Mittelwerte bildet einen Vektor (Mittelwertvektor). Dieser Vektor findet Eingang in die  $T^2$ - Hotelling Statistik:

$$T^2 = N(\bar{m} - \bar{\bar{m}})^T S^{-1} (\bar{m} - \bar{\bar{m}}) \quad \text{Gl. 3.1.1}$$

$T^2$ : Wert der Testverteilung

$N$ : Stichprobengröße

$\bar{m}$ : Vektor der Stichprobenmittelwerte (gemessen)

$\bar{\bar{m}}$ : Vektor der Produktmittelwerte (vorgegeben)

$S$ : Kovarianzmatrix

Nach Gl. 3.1.1 wird von  $\bar{m}$  der Vektor der Produktmittelwerte nach 3.1.4 subtrahiert.

$$\bar{\bar{m}} = \begin{bmatrix} \bar{\bar{m}}_1 \\ \bar{\bar{m}}_2 \\ \vdots \\ \bar{\bar{m}}_p \\ \vdots \\ \bar{\bar{m}}_j \end{bmatrix}$$

Gl. 3.1.4

Dadurch wird bewirkt, daß lediglich die Abweichungen von den jeweiligen Produktmittelwerten in die Mehrproduktkontrolle eingehen. Der dadurch entstandene Differenzvektor wird in Gl. 3.1.1 von rechts und von links an die invertierte Kovarianzmatrix anmultipliziert. Das mit der Stichprobengröße  $N$  multiplizierte Skalar ergibt schließlich den Wert der Testverteilung für die im betrachteten Zeitraum gefertigte Produktkombination. Dieser  $T^2$ -Wert wird als Zustandswert in die Mehrproduktkontrolle aufgenommen (angezeigt, gespeichert oder auf einer Karte eingetragen).

Zur Berechnung des Wertes der Testverteilung wird der Vektor der Produktmittelwerte  $\bar{\bar{m}}$  und die Kovarianzmatrix  $S$  verwendet. Diese werden beim Anpassen der Mehrproduktkontrolle an den konkreten Anwendungsfall bestimmt. Den Ausgangspunkt für die Bestimmung der Produktmittelwerte und der Kovarianzmatrix bilden  $k$  Beobachtungsmatrizen (Gl. 3.1.5), die bei der Einführung der Karte aufgestellt werden müssen. Sie beinhalten die  $N$  Stichprobenmessungen auf  $j$  Produkten.

$$M_k = \begin{bmatrix} m_{k11} & m_{k12} & \dots & m_{k1j} \\ m_{k21} & m_{k22} & \dots & m_{k2j} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ m_{kN1} & m_{kN2} & \dots & m_{kNj} \end{bmatrix}$$

Gl. 3.1.5

Der Index  $k$  bedeutet hier die Anzahl der Beobachtungsmatrizen, also die Anzahl der Stichproben für jedes Produkt, die zur Schätzung von Mittelwert und Kovarianzmatrix herangezogen werden.  $k$  wird auch als Vorlauf bezeichnet. Der Stichprobenmittelwert  $\bar{m}_{kp}$  und die Stichprobenvarianz  $S_{kp}^2$  für das  $p$ -te Produkt und die  $k$ -ten Vorlaufmessung ergeben sich aus Gl. 3.1.5 zu:

$$\bar{m}_{kp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_{kip} \quad \text{Gl. 3.1.6}$$

$$S_{kp}^2 = \frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N (m_{kip} - \bar{m}_{kp})^2 \quad \text{Gl. 3.1.7}$$

Die Kovarianz  $S_{kp_1 p_2}$ , welche die Korrelation zwischen dem Produkt  $p_1$  und dem Produkt  $p_2$  für die  $k$ -te Stichprobe beschreibt, lautet:

$$S_{kp_1p_2} = \frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N (m_{kip_1} - \bar{m}_{kp_1})(m_{kip_2} - \bar{m}_{kp_2}) \quad \text{Gl. 3.1.8}$$

Im nächsten Schritt werden die über  $k$  Vorlaufmessungen ermittelten Stichprobenmittelwerte gemittelt und man erhält den Produktmittelwert für das  $p$ -te Produkt.  $R$  bezeichnet die maximale Anzahl von Vorlaufswerten  $k$ :

$$\bar{\bar{m}}_p = \frac{1}{R} \sum_{k=1}^R \bar{m}_{kp} \quad \text{Gl. 3.1.9}$$

Schreibt man alle Produktmittelwerte der einzelnen Produkte als Vektor, so ergibt sich der gesuchte Vektor der Produktmittelwerte  $\bar{\bar{m}}$  aus Gl. 3.1.4.

Analog zum Vorgehen bei der Schätzung der Produktmittelwerte werden auch die Stichprobenvarianzen und Stichprobenkovarianzen über den Vorlauf  $k$  gemittelt:

$$S_p^2 = \frac{1}{R} \sum_{k=1}^R S_{kp}^2 \quad \text{Gl. 3.1.10}$$

$$S_{p_1p_2} = \frac{1}{R} \sum_{k=1}^R S_{kp_1p_2} \quad \text{Gl. 3.1.11}$$

Schreibt man Gl. 3.1.10 und Gl. 3.1.11 als Matrix, so ergibt sich die gesuchte symmetrische Kovarianzmatrix  $S$ :

$$S = \begin{bmatrix} S_1^2 & S_{12} & \dots & S_{1p_2} & \dots & S_{1j} \\ S_{12} & S_2^2 & \vdots & \vdots & \dots & S_{2j} \\ \vdots & \vdots & S_p^2 & \vdots & \dots & \vdots \\ S_{1p_2} & \vdots & \vdots & \ddots & & S_{p_1j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \ddots & \vdots \\ S_{1j} & S_{2j} & \dots & S_{p_1j} & \dots & S_j^2 \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 3.1.12}$$

Dieses Überwachungsverfahren ist in der Lage, die Qualität aller den Prozeßfluß durchlaufenden Produkte bzw. Produkttypen zu überwachen und qualitätskritische Abweichungen zu signalisieren. Dabei ist es möglich, die Qualität sehr vieler, einen Fertigungsschritt durchlaufenden Produkte mit Hilfe einer einzigen, übersichtlichen Kontrolldarstellung zu überwachen. Hierbei werden die Korrelationen, die zwischen Produkten bestehen, die den gleichen Fertigungsschritt durchlaufen, mit einbezogen. Auch ist berücksichtigt, daß die verschiedenen Produkte unterschiedliche Fertigungshäufigkeiten besitzen und somit in sehr unterschiedlicher Reihenfolge den zu überwachenden Fertigungsschritt – hier dargestellt ist S1 – durchlaufen. Weiter wird eine Beurteilung der statistischen Stabilität des Fertigungsprozesses durch Auswertung einer einzigen Kontrolldarstellung 20 zuverlässig möglich.

Um die Bereiche in denen ein Einsatz der Mehrproduktkontrolle sinnvoll erscheint näher abzugrenzen, soll im folgenden der Produktionsablauf (Prozeßfluß) in einer flexiblen Fertigung genauer beschrieben werden:

Hauptcharakteristikum für eine flexible Fertigung ist die Anforderung schnell und flexibel auf Kundenaufträge zu reagieren. Deswegen werden i.A. viele verschiedene Produkte, die sich durch Prozeßparameter, Prozeßsequenzen und Losgröße unterscheiden, einen Prozeßfluß durchlaufen. Dabei soll eine lückenlose Qualitätsüberwachung und eine Kontrolle der Fertigungsprozesse gewährleistet sein.

Nach dem bisherigen Monitoringkonzept gemäß Figur 2 muß für jedes Produkt und jeden zu überwachenden Prozeßparameter eine Kontrollkarte aufgestellt, z. B. nach Figur 6, und auf Kontrollgrenzenüberschreitung überwacht werden. Wegen der Vielzahl der Produkte ergeben sich sehr viele Kontrollkarten, die überwacht und ausgewertet werden müssen.

Statt für jedes Produkt, das einen Fertigungsschritt durchläuft, eine eigene Kontrollkarte aufzustellen und zu überwachen, erfolgt eine Mehrproduktkontrolle für alle den Fertigungsprozeß durchlaufenden Produkte, indem aus Produktmittelwerten der  $T^2$ -Wert berechnet wird. Damit kann die Qualität aller Produkte und die Stabilität des Fertigungsprozesses schnell und übersichtlich überwacht werden.

Nachdem jedoch die Produkte einen Fertigungsschritt i.A. nicht gleichzeitig durchlaufen, sondern nacheinander gefertigt werden, kann man zur übersichtlicheren Darstellung die Produktmittelwerte  $\bar{m}_p$  nach bestimmten Regeln zusammenfassen

**In Figur 3** sind fünf unterschiedliche Produkte (Typen 1 bis 5) dargestellt, die einen Fertigungsschritt durchlaufen. Die Losgrößen variieren zwischen den Produkten, was durch unterschiedlich große Kreise dargestellt ist. Für die Erstellung der Mehrproduktkontrolle können Meßwerte der nacheinander gefertigten Produkttypen 1 bis 5 solange zusammengefaßt werden, bis entweder ein maximaler Zeitraum  $T_{\max}$  erreicht ist, oder ein Produkt erneut in derselben Station gefertigt wird. Jeder Zeitabschnitt ergibt einen Punkt  $T_a, T_b, T_c$  in der Mehrproduktkontrolle bzw. der diesbezüglichen Darstellung 20. Im aktuellen Zeitraum gerade nicht gefertigte Produkte werden bei der Berechnung des  $T^2$ -Wertes nicht berücksichtigt und gehen somit nicht in den aktuellen  $T^2$ -Punkt ein.

Figur 3 veranschaulicht mehrere Zeitpunkte  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$  und  $t_5$  und veranschaulicht die Möglichkeiten, die Zeitspanne  $T_1$  festzulegen und damit festzulegen, wann ein für den Zustandsverlauf 20 relevanter Meßwert  $T_a$ ,  $T_b$ ,  $T_c$  aufgetragen oder dargestellt wird. Die Berechnung dieses Meßwertes findet sich in **Figur 5**, auf die gemeinsam mit der hier beschriebenen Figur 3 Bezug genommen wird. In der ersten Zeitspanne von 0 bis  $t_1$  wurden die Produkttypen 1, 2 und 4 gefertigt, wobei Produkttyp 1 zuerst und danach gleichzeitig die Produkttypen 2 und 4 gefertigt wurden. Nachdem Produkttyp 1 zum Zeitpunkt  $t_1$  erneut eine physikalische Veränderung in der Fertigungsstation S1, die hier dargestellt ist, verlangt, wird ein Punkt  $T_b$  errechnet und aufgetragen. Für die Produkttypen 3 und 5 wurde in dem betrachteten Zeitabschnitt zwischen 0 und  $t_1$  keine Fertigung in dem Fertigungsprozeß S1 verlangt, so daß insoweit auch keine Meßwerte zur Verfügung stehen, die mit der Einrichtung gemäß **Figur 4** hätten gemessen werden können. Statt dessen wird ein zuvor beschriebener vorgegebener Mittelwert verwendet, der für die Produkttypen 3 und 5 bereitsteht und bei der angewandten Berechnung gemäß Gleichung 3.1.1. keinen die Amplitude beeinflussenden Beitrag leistet.

Im zweiten betrachteten Zeitintervall zwischen  $t_1$  und  $t_2$  werden die Produkttypen 1, 3, 4 und 5 gefertigt. Hier wird der Produkttyp 2 nicht gefertigt bzw. in seinem physikalischen Zustand nicht verändert. In der Station begehrt der Produkttyp 3 erneut eine physikalische Beeinflussung, so daß ein neuer Zustandswert gemäß Gleichung 3.1.1. ~~errechnet wird, der als Wert  $T_c$  in der Darstellung 20~~ aufgetragen wird. Für den Produkttyp 2 wurde für den Zeitabschnitt  $t_1$  bis  $t_2$  sein Produktmittelwert verwendet, der neutral ist.

Im Zeitbereich  $t_2$  bis  $t_3$  zeigt sich, daß alle fünf Produkttypen 1 bis 5 in der Station S1 physikalisch verändert worden sind. Es kann also gleich nach Einflußnahme auf den Produkttyp 5 ein neuer Zustandswert  $T_d$  errechnet werden. Praktisch zeitgleich begehrt der Produkttyp 3 eine erneute physikalische Veränderung in der Station S1, so daß ohnehin bei Wiederholung der physikalischen Bearbeitung eines Produkttypes ein Zeitraum  $T_1$  als abgeschlossen betrachtet worden wäre.

Es zeigt sich aus den drei vorgenannten Zeitabschnitten, daß die erneute Fertigung eines schon einmal gefertigten Produkts festlegt, wann das Ende des ersten Zeitabschnittes  $T_1$  ist. Sind aber alle überwachten Produkttypen in der Station S1 schon gefertigt worden, so würde die nächste Anforderung in jedem Fall dieses Kriterium erfüllen, so daß sogleich die Zeit  $T_1$  als beendet betrachtet werden kann und ein Zustandswert in der Grafik 20 aufgetragen werden kann.

Im folgenden Zeitintervall  $T_1'$  findet die maximale Zeit Anwendung,  $T_1' = T_{\max}$ . Hier sind die Produkttypen 1 bis 3 und 5 gefertigt worden. Es wollte in dem maximal festgelegten

Zeitintervall kein weiterer Produkttyp von der Station S1 eine physikalische Veränderung erfahren, so daß der Grenzwert Anwendung findet und festlegt, wann die Berechnung des Zustandswertes  $T_e$  erfolgt. Für Produkttyp 4 wird für diesen Zeitraum  $T_1$  der Produktmittelwert angenommen.

- 5 Im letzten aufgezeichneten Zeitabschnitt  $T_1$  wurden alle fünf Produkttypen gefertigt, diesmal in einem kürzeren Zeitraum, als in den Zeiträumen  $t_1$ ,  $t_2$  und  $t_3$ . Der Zeitraum zwischen  $t_4$  und  $t_5$  bildet somit einen Zustandswert  $T_1$  ab, berechnet nach der Gleichung 3.1.1., wie zuvor erläutert.

- 10 Das so erhaltene Diagramm 20, das die Zustandsgröße  $T^2$  zeigt, ist ein Maßstab für die Qualität der Fertigung, hier im Fertigungsprozeß S1. Sie wird verglichen mit einem oberen Kontrollwert  $U_{CL}$ , dessen Überschreitung Unregelmäßigkeiten anzeigt.

- 15 Die Berechnung des jeweiligen verbindlichen Zustandswertes erfolgt also nicht immer dann, wenn eine physikalische Änderung eines Produkttypes erfolgt ist, sondern erst nach Ablauf einer festgelegten Zeitspanne, die sich aus dem Prozeßfluß ergibt. Erst dann wird der für die Darstellung 20 relevante Zustandswert  $T_a$ ,  $T_b$ , ... verbindlich. Es kann im Flußdiagramm der **Figur 5** aber auch sein, daß der Zustandswert jedesmal berechnet wird, z.B. in einer dort dargestellten inneren Schleife, für die verbindliche Darstellung 20 aber nicht übernommen wird. ~~Die Übernahme erfolgt erst dann, wenn die festgelegte Zeitspanne  $T_1$ , wie erläutert, abgelaufen ist,~~ wobei sie entweder die maximale Zeitspanne ist oder diejenige Zeitspanne, nachdem alle Produkte in dem Fertigungsprozeß S1 (Fertigungsstation) gefertigt wurden. Ein Unterfall letzteren Kriteriums ist es, wenn ein und derselbe Produkttyp erneut in derselben Fertigungsstation eine physikalische Änderung begehrt, ohne daß zuvor ein verbindlicher Zustandswert in die Darstellung 20 eingetragen worden ist.

- 25 Die Speicherung der in Figur 4 als Messung dargestellten Prozeßgrößen, die Strukturdicken oder Strukturbreiten aus einem Halbleiter-Fertigungsprozesses sein können, ergibt eine inkrementelle Ergänzung eines Mittelwertvektors, dessen einzelne Mittelwerte nach und nach mit Meßwerten der unterschiedlichen Produkttypen aufgefüllt werden und dann mit Gleichung 3.1.1 in einem Zustandswert umgerechnet werden. Meßwerte, die bis zu ihrer Berechnung noch fehlen, werden vorübergehend durch Produktmittelwerte aufgefüllt, die hinsichtlich des Ergebnisses neutral sind. Es kann bei dem beschriebenen Verlauf auch vorkommen, daß nur ein Meßwert in den Mittelwertvektor eingeht, während alle übrigen Meßwerte die Produktmittelwerte sind. Es kann theoretisch sogar so sein, daß überhaupt kein Produkttyp in der maximalen Zeitspanne  $T_{max}$  eine Bearbeitung begehrt, so daß von der Berechnung 15 nur

Produktmittelwerte verwendet werden und damit ein neutraler Zustandswert ermittelt wird.

Das zuvor beschriebene Vorgehen anhand der Figur 3 läßt sich auch im Rahmen eines Flußdiagramms der **Figur 5** darstellen, das hier durch expliziten Bezug vollumfänglich einbezogen wird, nachdem der Fachmann ohne weiteres den dort dargestellten Abfragen (Rauten) und Funktionen (Rechtecke) den Steuerungsprozeß der Ermittlung eines Zustandsgrößenverlaufs entnehmen kann. Das beschriebene Ablaufdiagramm ist Kennzeichen einer softwaretechnischen Ablaufsteuerung, kann aber auch in entsprechenden Hardware-Komponenten realisiert werden.

Ausgangspunkt „Start“ ist die Berechnung der Kovarianzmatrix und der Produktmittelwerte (Vektor dieser Mittelwerte) sowie der Grenzen, mit denen der Zustandsgrößenverlauf verglichen werden soll. Die aktuellen Meßwerte eines Produktes werden übernommen, welche Meßwerte anhand der Figur 4 bei der Messung noch beschrieben werden sollen. Die Steuerung der **Figur 5** zeigt im Funktionsblock 90 die grafische Darstellung der Zustandsgröße im Diagramm 20, die aber aufgrund der bestehenden Schleife immer wieder überschrieben wird, also einen vorläufigen Charakter trägt. Aufgrund der Abfrage 82 werden auch vorläufige Zustandsgrößen zur Alarmauslösung verwendet, in entsprechender Abwandlung ~~können Alarmauslösungen und die zugehörige Abfrage 82 auch erst vor dem~~ Funktionsblock 71 nach dem Ausgang der inneren Schleife gelegt werden.

Die Funktionsblöcke 70 in der Schleife und als Eingangsfunktion vor der Schleife sind identisch, sie betreffen die aus Figur 4 ersichtliche Meßwertübernahme aus dem Prozeßfluß bzw. der dort spezifisch dargestellten Fertigungsstation S1.

Das zuvor anhand der Figur 3 beschriebene Kriterium findet sich in der Abfrage 81 der **Figur 5**. Ist eines der Kriterien erfüllt, ist die Zeitspanne  $T_1$  festgelegt bzw. abgelaufen. Ein verbindlicher Punkt in der Zustandsgrafik 20 entsteht.

Kommen neue Produkte hinzu, fällt ein Produkt weg oder ändern sich die Parameter, die gemessen werden, leitet die Abfrage 80 ein Ende der Schleife ein und beginnt so, wie eingangs nach „Start“ beschrieben, um erneut in die beschriebene Schleife einzumünden.

Die Auffüllung Zug um Zug des Mittelwertvektors durch entsprechendes Überspeichern des alten Wertes findet in der Funktion 72 oder 71 statt. Der Zustandswert des Verlaufes der Darstellung 20 ergibt sich entweder aus der Funktion 90 oder im Rahmen der Funktion 71, wie zuvor beschrieben.

Die Darstellung der Zustandswerte 20 aus **Figur 4** ist Folge der Umrechnung 15, die in **Figur 5** erläutert wurde. Die auf die Umrechnung 15 Einfluß nehmenden Meßwerte des Prozesses sind in **Figur 4** dargestellt durch Meßstationen 14, namentlich solchen Meßstationen, die als Meßeinrichtungen bestimmte Parameter der Produkttypen 1, 2, p bis j nach physikalischer Beeinflussung in der Station S1 messen. Jedem Produkttyp ist ein bestimmter Parameter zugeordnet, der bei ihm gemessen wird. Es können auch mehrere Parameter eines Produkttypes gemessen werden, zumindest einer ist aber erforderlich. Aus den aus einer Stichprobe entnommenen Meßwerten wird ein Mittelwert gebildet und dieser Mittelwert findet sich bei der Umrechnung 15, die in **Figur 5** zwischen den Funktionen 72 und 90, bzw. in der Gleichung 3.1.1 erläutert ist.

Es ist in **Figur 4** nicht detaillierter dargestellt, welche physikalischen Parameter gemessen werden, weil diese Festlegung abhängig von den gefertigten Produkten ist. Im Falle einer Halbleiterfertigung können Strukturbreiten b1 oder Strukturdicken d1, d2 von bestimmten Halbleiterelementen in einem PAL oder ASIC als Anhaltspunkt dienen, die von dem jeweiligen Prozeß beeinflußt werden, nach welchem Prozeß die Messung erfolgt.

In **Figur 4** ist ersichtlich, daß weitere Fertigungsprozesse S2, S3, etc., wie auch in **Figur 1** dargestellt, sich anschließen können, die von den Produkttypen 1 bis j auch durchlaufen werden. Für jeden Fertigungsprozeß wird dabei eine Darstellung 20 erstellt, um die statistische Kontrolle des Prozeßflusses aus mehreren Fertigungsprozessen S1, S2, S3 zu behalten.

Ein Beispiel eines sich ergebenden Zustandsverlaufes der Darstellung 20 ist in **Figuren 7, 8** angegeben, die trotz ähnlichen äußeren Erscheinungsbildes gegenüber der **Figur 6** eine wesentlich aussagekräftigere und übersichtlichere Darstellung beinhalten, nachdem viel mehr Prozeßinformation in den einzelnen aufgetragenen Zustandspunkten enthalten ist, als noch bei der Shewart-Karte von **Figur 6**. Ein Beispiel eines Ofens, in dem mit verschiedenen Prozessen vier verschiedene Schichten auf vier unterschiedliche Produkte aufgebracht werden, ist im Ergebnis in den **Figuren 7 und 8** dargestellt und wird am Ende erläutert.

Das Verfahren liefert eine übersichtliche und komprimierte Darstellung des Fertigungsprozesses, mit deren Hilfe man den statistischen Zustand des Prozesses und die Qualität der gefertigten Produkte "auf einen Blick" beurteilen kann. Aufgrund der Kombination der Produktmittelwerte der einzelnen Produkte liegt das Einsatzgebiet in der übergeordneten Analyse des Fertigungsprozesses z.B. durch den SPC-Beauftragten oder Linienleiter.

Als statistische Grundlage dient Hotellings  $T^2$ -Statistik, die eine Verallgemeinerung des univariaten t-Tests darstellt. Gl. 3.1.1 zeigt die Hotelling-Statistik.

$$T^2 = N(\bar{m} - \bar{\bar{m}})^T S^{-1} (\bar{m} - \bar{\bar{m}})$$

Gl. 3.1.1

$T^2$  : Wert der Testverteilung (Zustandswert)

$N$  : Stichprobengröße

$\bar{m}$  : Vektor der Stichprobenmittelwerte

$\bar{\bar{m}}$  : Vektor der Produktmittelwerte

$S$  : Kovarianzmatrix

Vereinfacht ausgedrückt ist eine graphisch aufgetragene Mehrproduktkontrolle, ebenso wie die klassischen Kontrollkarten, ein Hypothesentest. Getestet wird, ob sich der Durchschnittswert einer Stichprobe vom bekannten bzw. ausreichend gut geschätzten Mittelwert der Grundgesamtheit unterscheidet. Liegt der Wert der Testverteilung innerhalb der vorher festgelegten Kontrollgrenzen, so wird die Hypothese "Stichprobe gehört zur ursprünglichen Grundgesamtheit" angenommen. Der Prozeß ist mit hoher Wahrscheinlichkeit unter statistischer Kontrolle. Liegt der Wert der Testverteilung außerhalb der Kontrollgrenzen, so muß mit hoher Wahrscheinlichkeit die eben genannte Hypothese verworfen werden. Der Prozeß ist nicht mehr unter statistischer Kontrolle.

~~Die Kontrollgrenze wird so gewählt, daß die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers vom Typ I oder Typ II sehr gering wird. Typ I-Fehler: Die Hypothese wird fälschlicherweise verworfen, Typ II-Fehler: Die Hypothese wird fälschlicherweise angenommen.~~

Die Mehrproduktkontrolle trifft Aussagen über die Kombination von Produkten. Tritt eine Grenzverletzung auf, so bedeutet das, daß der betrachtete Fertigungsprozeß mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht mehr unter statistischer Kontrolle ist. Hinsichtlich der Qualität der gefertigten Produkte bei einer Kontrollgrenzenverletzung kann man zwischen 2 Fällen unterscheiden: Entweder zeigt sich bei Betrachtung der dazugehörigen Produktmittelwerte, daß eines oder mehrere Produkte ihre Kontrollgrenze (z.B. die  $3\sigma$ -Grenze) verletzt haben, oder es ergibt sich, daß viele Produkte gleichzeitig nahe an ihrer Kontrollgrenze liegen. Hier sind zwar die gefertigten Produkte hinsichtlich der Qualität noch in Ordnung, die statistische Stabilität des Prozesses muß jedoch trotzdem angezweifelt werden, da es sehr unwahrscheinlich ist, daß viele Produkte gleichzeitig nahe an ihrer Kontrollgrenze liegen.

Wurde ein Produkt im betrachteten Zeitraum nicht gefertigt, so wird als „Meßwert“ der Produktmittelwert als ein geschätzter Mittelwert der Grundgesamtheit des Produkts angenommen. Dieses Produkt beeinflusst dann nicht den Wert der Testverteilung.

Neben der Überwachung von Kontrollgrenzenüberschreitung bietet die Mehrproduktkontrolle noch weitere Auswertemöglichkeiten. Durch die zeitlich chronologische Anordnung und Darstellung der Daten eines Fertigungsprozesses können längerfristige Trends, die bei der Prozeßüberwachung mit Einzelkarten  
5 aufgrund der unterschiedlichen Fertigungshäufigkeiten nicht sichtbar werden, gut erkannt werden. Damit bietet die Mehrproduktkontrolle im Vergleich zum Monitoring mit Einzelkarten mehr Informationen über den zu überwachenden Prozeß.

Da alle zu überwachenden Produkte denselben Prozeßschritt durchlaufen, wird der Stichprobenmittelwert eines Produkts, der nach der Fertigung aus den  
10 Stichprobenmeßwerten ermittelt wird, mit den Stichprobenmittelwerten der anderen Produkte korrelieren. Je nach Stärke der Korrelationen zwischen den Produkten ändert sich die Wahrscheinlichkeit alle oder mehrere Produkte auf einem bestimmten Wert relativ zu ihren Mittelwerten anzutreffen. Sind die Produkte stark miteinander korreliert, so ist die Wahrscheinlichkeit hoch, daß, sofern ein Produkt eine gewisse Abweichung  
15 vom Produktmittelwert besitzt, auch viele andere eine ebenso große Abweichung von ihren jeweiligen Produktmittelwerten besitzen. Bei geringen Korrelationen zwischen den Produkten sinkt diese Wahrscheinlichkeit. Die Stärke der Korrelationen zwischen den Produkten hat somit Einfluß auf den Wert der Testverteilung  $T^2$  und die Lage der Kontrollgrenze. Deswegen werden die Korrelationen zwischen den Produkten bestimmt  
20 ~~und erst in bestimmten Zeitabständen angepaßt.~~

Für den praktischen Einsatz ist, wie bei den klassischen Kontrollkarte auch, die sog. IIND-Bedingung erfüllt. Sie sagt aus, daß die Daten, die mit Hilfe der Kontrolle analysiert werden sollen, voneinander unabhängig und normalverteilt sein müssen. Diese Forderung wird in der Praxis oft stillschweigend vorausgesetzt. Hier bedeutet die  
25 IIND-Bedingung, daß zum einen alle Vektoren der Stichprobenmittelwerte voneinander unabhängig sind, zum anderen die Mittelwerte der Stichproben der einzelnen Produkte multinormalverteilt sind.

Die genaue Lage einer Kontrollgrenze für die Mehrproduktkontrolle stärkt ihre Aussagekraft. Bei klassischen Shewart-Karten wird die Kontrollgrenze z.B. so gelegt,  
30 daß bei Werten der Testverteilung, die weiter als die 3-fache Standardabweichung ( $3\sigma$ -Grenze) vom Mittelwert entfernt liegen, eine Grenzüberschreitung auftritt. Dieses Verhalten sollte auch bei einer Mehrproduktkontrolle erreicht werden Falls also eines der Produkte aus der momentanen Produktkombination seine  $3\sigma$ -Grenze verletzt, soll das die Mehrproduktkontrolle mit einer Grenzüberschreitung quittieren.

Bei nicht zu starken Korrelationen zwischen den verschiedenen Produkten kann eine  
35 Kontrollgrenze  $U_{CL}$  berechnet werden, indem man jeden Produkttyp nacheinander auf

z.B. seinen 3-Sigma-Wert setzt, während die jeweiligen anderen Produkttypen auf ihren Produktmittelwert gesetzt werden. Diese Vektoren werden der Hotelling-Statistik unterworfen. Der kleinste so gebildete  $T^2$ -Zustandswert stellt die Kontrollgrenze  $U_{CL}$  dar.

Die Funktionsweise der Mehrproduktkontrolle soll anhand eines Beispiels weiter verdeutlicht werden. Dazu wird ein Ofen betrachtet, in dem mit Hilfe verschiedener Prozesse vier verschiedene Schichtdicken auf 4 unterschiedliche Produkte aufgebracht werden. Einer der Produkte stammt aus einem häufiger genutzten Produkttyp, die anderen Produkte haben kleinere Losgrößen und werden seltener gefertigt.

Die Zielsetzung ist es die Schichtdicken aller 4 Produkte zu überwachen. Um eine komprimierte Darstellung zu erhalten, werden die Produkte zu einem Datenpunkt bei der Mehrproduktkontrolle zusammengefaßt, sofern die unterschiedlichen Produkte innerhalb eines Zeitraums von max. 4 Tagen gefertigt werden. Werden an dem betrachteten Ofen eines oder mehrere der vier betrachteten Produkte nicht innerhalb des maximalen Zeitraums von 4 Tagen physikalisch beeinflusst (gefertigt), so wird für den zu errechnenden Zustandswert (Datenpunkt) der Produktmittelwert des spezifischen Produktes angenommen und der Zustandswert nach Ablauf des maximalen Zeitraums berechnet. Der maximale Zeitraum kann erheblich variieren, abhängig von den zu fertigenden Produkten, er kann zwischen mehreren Stunden und mehreren Tagen betragen, was in dem hier betrachteten Beispiel aber aufgrund des thermisch langsamen Ofens eher hoch angesiedelt und beträgt die genannten vier Tage. Der hier angenommene maximale Zeitraum entspricht in Figur 3 dem dort dargestellten Zeitraum zwischen den Zeitpunkten  $t_3$  und  $t_4$ .

Zur Darstellung wurden die Mittelwerte, Varianzen und Kovarianzen ermittelt. Daraus wurde die 4x4-Kovarianzmatrix aufgestellt (Gl. 3.15) und invertiert (Gl. 3.16):

$$S = \begin{bmatrix} 0,133 & 0,120 & -0,005 & 0,305 \\ 0,120 & 0,410 & 0,117 & 0,290 \\ -0,005 & 0,117 & 0,720 & 1,000 \\ 0,305 & 0,290 & 1,000 & 8,808 \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 3.15}$$

$$S^{-1} = \begin{bmatrix} 11,661 & -3,461 & 1,239 & -0,431 \\ -3,461 & 3,599 & -0,723 & 0,084 \\ 1,239 & -0,723 & 1,829 & -0,227 \\ -0,431 & 0,084 & -0,227 & 0,152 \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 3.16}$$

Die Kontrollgrenze wird im Beispiel zu  $U_{CL}=59,28$  gewählt.

Immer dann, wenn eines der vier Produkte seine  $3\sigma$ -Grenze in einer Shewart-Karte überschreitet, ergibt sich auch eine Grenzverletzung bei der Mehrproduktkontrolle von **Figur 7, 8**. Liegt eines oder mehrere der Produkte nahe der  $3\sigma$ -Grenze, so liegt auch der Zustandswert der Mehrproduktkontrolle in der Nähe der Kontrollgrenze  $U_{CL}$ . Die hier  
5 getroffene Feststellung der Übereinstimmung mit einer Grenzverletzung bei einer Shewart-Karte ist nicht bildlich dargestellt, nachdem die Shewart-Karten der vier betrachteten Produkte nicht einzeln gezeigt werden. Nachdem aber deutlich ersichtlich die Grenze  $U_{CL}$  gestrichelt eingezeichnet ist, ist an den Figuren 7 und 8 erkennbar, welche Zustandswerte gemäß **Figur 5** Alarm auslösen.

10 Zusammenfassend kann man sagen, daß eine Mehrproduktkontrolle oder eine Mehrproduktkontrolldarstellung als Ergänzung zu den klassischen Einzelkarten in einer flexiblen Fertigung deutliche Vorteile bringt. Neben der einfachen und übersichtlichen Überwachung der Produktqualität kann die statistische Stabilität der  
15 Fertigungsprozesse einfach und übersichtlich überwacht werden. Die Anzahl der zu überwachenden Karten wird durch die Einführung der Mehrproduktkontrolle drastisch reduziert. Wegen der zeitlichen Komprimierung und der Darstellung von Produktkombinationen eignet sich die Mehrproduktkontrolle besonders gut für Qualitätsmanagement, längerfristige Analysen und als Grundlage für die Erkennung von Trends.

20

\* \* \*

**Ansprüche:**

1. **Verfahren** zur Überwachung der Qualität einer Vielzahl von insbesondere verschiedenen technischen Produkttypen ( $P, P', P'', P'''$ ), die in einem quasi-  
parallelen Fertigungsprozeß hergestellt werden, wobei der Fertigungsprozeß  
mehrere sequentielle Fertigungsstationen ( $S1, S2, S3$ ) besitzt und für zumindest  
eine ( $S1$ ) der Fertigungsstationen der Verlauf einer Zustandsgröße ( $T^2$ )  
punktweise ermittelt und dargestellt wird, wobei
- (a) eine Anzahl der zu überwachenden Produkttypen als erste Typenzahl ( $j$ )  
festgelegt wird;
  - (b) ein technischer Produktparameter ( $d1, d2, b1$ ), der in der zumindest einen  
Fertigungsstation ( $S1$ ) beeinflusst wird, festgelegt wird und eine  
Messeinrichtung ( $10, 11, 12$ ) dieser Fertigungsstation zugeordnet wird, um  
diesen technischen Produktparameter für zumindest einen der überwachten  
Produkttypen ( $S1$ ) zu messen;
- im Fertigungsprozeß**
- (c) eine Stichprobe eines (ersten) in seinem physikalischen Zustand in der  
Fertigungsstation ( $S1$ ) geänderten Produkttyps aus der ersten Typenzahl  
von Produkttypen genommen wird und mit der Meßeinrichtung für den  
festgelegten technischen Produktparameter der Stichprobe (erste) Meßwerte  
bestimmt werden;
  - (d) ein eigener Mittelwert ( $\bar{m}_p$ ) aus den Meßwerten berechnet wird und dieser  
Mittelwert ( $\bar{m}_p$ ) in einem der ersten Typenzahl zugeordneten  
mehrdimensionalen Mittelwert ( $\bar{m}$ ) gespeichert wird;
  - (e) die Schritte (c) und (d) zur Ergänzung des mehrdimensionalen Mittelwerts  
( $\bar{m}$ ) mit zumindest einem weiteren gemessenen Mittelwert ( $\bar{m}_{p+1}$ ) für  
zumindest einen weiteren Produkttyp ( $P'$ ) wiederholt werden;
  - (f) (erst) nach Ablauf einer festgelegten Zeitspanne ( $T1$ ) der gespeicherte  
mehrdimensionale Mittelwert, bestehend aus mehreren einzelnen  
Mittelwerten, gemeinsam in einen Zustandswert umgerechnet ( $15$ ) und als  
Punkt ( $T_a, T_b, T_c$ ) des Verlaufes der Zustandsgröße ( $T^2(t)$ ) gespeichert oder  
bildlich dargestellt wird ( $20$ ).

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die erste Zeitspanne so festgelegt wird, daß entweder ein vorgegebenes maximales Zeitintervall ( $T_{\max}$ ) verstrichen ist oder einer der ersten Typenzahl von Produkttypen erneut in derselben zumindest einen Fertigungsstation (S1) physikalisch zu beeinflussen ist, insbesondere die erste Typenzahl von Produkttypen (alle) die zumindest eine Fertigungsstation (S1) durchlaufen haben.
3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Zustandswert aus dem mehrdimensionalen Mittelwert anhand einer  $T^2$ -Hotelling-Statistik errechnet wird, wobei vor der Berechnung (15) der mehrdimensionale Mittelwert von einem vorgegebenen mehrdimensionalen Mittelwert ( $\bar{m}$ ) subtrahiert wird bzw. vice versa, um lediglich die Abweichung des gemessenen mehrdimensionalen Mittelwerts von dem vorgegebenen Mittelwertvektor bei der Berechnung zu berücksichtigen.
4. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, bei dem der vorgegebene mehrdimensionale Mittelwert ( $\bar{m}$ ) aus einer Mehrzahl von Vorlaufmessungen (k) in einem Fertigungsprozeß ermittelt wird, insbesondere im Fertigungsprozeß aktualisiert wird.
- ~~5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche~~, bei dem die technischen Produktparameter eine Schichtdicke (d1,d2), eine Strukturbreite (b1), eine Strukturlänge oder Störfaktoren, wie Defektdichten oder Partikeldichten, sowie sonstige Längenmaße in, an oder auf den Produkttypen sind, insbesondere in einem Verfahren zur Fertigung von Halbleitern auf Wafern oder zur Fertigung von kundenspezifischen Halbleiterbausteinen mit jeweils pro Produkttyp vorgegebener eigener Struktur.
6. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem die maximale Zeitspanne ( $T_{\max}$ ) zwischen mehreren Stunden und mehreren Tagen beträgt, insbesondere abhängig von einer Auslastung der Fertigungsstationen (S1, S2, S3), dem Produkttyp, der Anzahl der Produkttypen als Typenanzahl oder der maximalen Zeitauflösung.

7. Verfahren nach einem vorhergehender Ansprüche, bei dem ein Grenzwert ( $U_{CL}$ ) festgelegt wird, um den Verlauf der Zustandsgröße ( $T^2$ ;  $T_a$ ,  $T_b$ ,  $T_c$ ) mit dem Grenzwert zu vergleichen und ein Signal, insbesondere eine Meldung, auszugeben, wenn der Verlauf der Zustandsgröße mit zumindest einem Punkt den vorgegebenen Grenzwert ( $U_{CL}$ ) überschreitet.
8. Verfahren nach einem voriger Ansprüche, bei dem die bildliche Darstellung (20) auf einem Monitor oder ausgedruckt auf einer Karte erfolgt.
9. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Mittelwert ( $\bar{m}_p$ ) eines Produkttyps in der ersten Typenzahl von Produkttypen hinsichtlich des ihn betreffenden technischen Produktparameters bei der Umrechnung (15) gemäß Ziffer (f) auf einen vorgegebenen Mittelwert ohne Einfluß von Meßwerten gesetzt wird, wenn der zugehörige Produkttyp während einer maximalen Zeitspanne ( $T_{max}$ ) nicht in der Fertigungsstation (S1) in seinem physikalischen Zustand beeinflusst worden ist.
10. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der gespeicherte mehrdimensionale Mittelwert (auch) jedesmal dann in einen hypothetischen Punkt des Verlaufs der Zustandsgröße umgerechnet wird (90,15), wenn ein neuer gemessener Mittelwert ( $\bar{m}_p$ ) ~~im mehrdimensionalen Mittelwert ergänzt wurde~~.
11. Verfahren nach Anspruch 4 oder 9, bei dem der oder jeder vorgegebene Mittelwert ( $\bar{m}$ ) für alle überwachten Produkttypen neu festgelegt wird, wenn sich die erste Typenzahl ändert.

12. **Verfahren** zur Überwachung der Qualität einer Vielzahl von insbesondere verschiedenen technischen Produkten ( $P, P', P''$ ), die in einem quasi-parallelen Fertigungsprozeß hergestellt werden, wobei der Fertigungsprozeß mehrere Fertigungsstationen ( $S1, S2, S3$ ) besitzt und für zumindest eine ( $S1$ ) der Fertigungsstationen der Verlauf einer Zustandsgröße ( $T^2$ ) punktweise ermittelt wird, wobei

- (a) eine Anzahl der zu überwachenden Produkte als erste Typenzahl ( $j$ ) festgelegt wird;
- (b) ein technischer Produktparameter ( $d1, d2, b1$ ) der Produkte, der in der zumindest einen Fertigungsstation ( $S1$ ) beeinflusst wird, festgelegt wird und eine Messeinrichtung (10, 11, 12) dieser Fertigungsstation zugeordnet wird, um diesen technischen Produktparameter für zumindest einen der zu überwachenden Produkte nach der Beeinflussung durch diese Fertigungsstation ( $S1$ ) zu messen;

**im Fertigungsprozeß**

- (c) eine Stichprobe eines ersten in seinem physikalischen Zustand in der Fertigungsstation ( $S1$ ) geänderten Produkts aus der ersten Typenzahl von Produkten genommen wird und mit der Meßeinrichtung (10, 11, 12) Meßwerte ( $m_1, m_2, m_N$ ) für den festgelegten technischen Produktparameter ermittelt werden;
- (d) ~~ein eigener Mittelwert~~ ( $\bar{m}_p$ ) berechnet wird, der aus den Meßwerten aus der Meßeinrichtung folgt, und dieser Mittelwert ( $\bar{m}_p$ ) in einem der ersten Typenzahl ( $j$ ) zugeordneten mehrdimensionalen Mittelwert ( $\bar{m}$ ) gespeichert wird;

der gespeicherte mehrdimensionale Mittelwert, bestehend aus mehreren einzelnen Mittelwerten, gemeinsam in einen Zustandswert umgerechnet und als Punkt ( $T_a, T_b, T_c$ ) des Verlaufes der Zustandsgröße ( $T^2(t)$ ) gespeichert oder bildlich dargestellt wird (20), wobei der Zustandswert anhand einer  $T^2$ -Hotelling-Statistik errechnet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem der gespeicherte Mittelwertvektor vor der Umrechnung (15) von einem vorgegebenen Mittelwertvektor ( $\bar{\bar{m}}$ ) subtrahiert wird bzw. vice versa, um lediglich eine mehrdimensionale Abweichung des gemessenen Mittelwertvektors von dem vorgegebenen Mittelwertvektor zu berücksichtigen.

14. **Verfahren** zur Überwachung der Qualität einer Vielzahl von technischen Produkten ( $P, P', P''$ ), die in einem Fertigungsprozeß hergestellt werden, wobei der Fertigungsprozeß mehrere Fertigungsstationen ( $S1, S2, S3$ ) besitzt und für zumindest eine ( $S1$ ) der Fertigungsstationen der Verlauf einer Zustandsgröße ( $T^2$ ) punktwise ermittelt wird, wobei

- (a) eine Anzahl der zu überwachenden Produkte als eine erste Typenzahl ( $j$ ) festgelegt wird, die größer als Eins ist;
- (b) ein technischer Produktparameter ( $d1, d2, b1$ ), der in der zumindest einen Fertigungsstation ( $S1$ ) beeinflußt wird, festgelegt wird und eine Messeinrichtung ( $10, 11, 12$ ) dieser Fertigungsstation zugeordnet wird, um diesen technischen Produktparameter bei den zu überwachenden Produkten nach dem Beeinflussen in der Fertigungsstation ( $S1$ ) zu messen;

**im Fertigungsprozeß**

- (c) eine Stichprobe eines ersten in seinem physikalischen Zustand in der einen Fertigungsstation ( $S1$ ) geänderten Produkts aus der ersten Typenzahl von Produkten genommen wird und Meßwerte ( $m_1, m_2, m_N$ ) für den festgelegten technischen Produktparameter ermittelt werden;
- (d) ein eigener Mittelwert ( $\bar{m}_p$ ) berechnet wird, der aus den Meßwerten der Meßeinrichtung berechnet wird, und dieser Mittelwert ( $\bar{m}_p$ ) als ein ~~eindimensionaler Wert in einem der ersten Typenzahl ( $j$ ) zugeordneten~~ mehrdimensionalen Mittelwert ( $\bar{m}$ ) gespeichert wird;

der gespeicherte mehrdimensionale Mittelwert, bestehend aus mehreren eindimensionalen Mittelwerten, gemeinsam in einen Zustandswert umgerechnet und als ein Punkt ( $T_a, T_b, T_c$ ) des Verlaufes der Zustandsgröße ( $T^2(t)$ ) gespeichert oder bildlich dargestellt wird (20).

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei die technischen Produkte verschiedene, bzw. technisch unterschiedliche Produkte sind.
16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei der überwachte technische Produktparameter bei verschiedenen technischen Produkten im wesentlichen derselbe ist.
17. Verfahren nach Anspruch 14, wobei der Zustandswert anhand einer  $T^2$ -Hotelling-Statistik errechnet wird.
18. Verfahren nach Anspruch 14, wobei eine Speicherung und eine Darstellung (20) zumindest des neu ermittelten Zustandswertes erfolgt.

19. Verfahren nach Anspruch 14, wobei die Verfahrensschritte (c) und (d) für denselben technischen Produktparameter eines weiteren der zu überwachenden Produkttypen durchgeführt werden, wobei der „eigene Mittelwert“ als ein „weiterer eigener Mittelwert“ an einer anderen Stelle des mehrdimensionalen Mittelwerts gespeichert wird.
20. Verfahren nach Anspruch 14, wobei die Anzahl der eindimensionalen Mittelwerte (Skalare) in dem mehrdimensionalen Mittelwert zumindest der ersten Typenzahl (j) entspricht.
21. Verfahren nach Anspruch 14, wobei die Umrechnung in den Zustandswert bereits dann erfolgt, wenn noch nicht alle eindimensionalen Werte seit einer zeitlich direkt vorhergehenden Umrechnung in einen zeitlich vorhergehenden Zustandswert durch aktuelle Messwerte und ihre jeweils zugehörigen eindimensionalen Mittelwerte erneuert worden sind.

\* \* \*

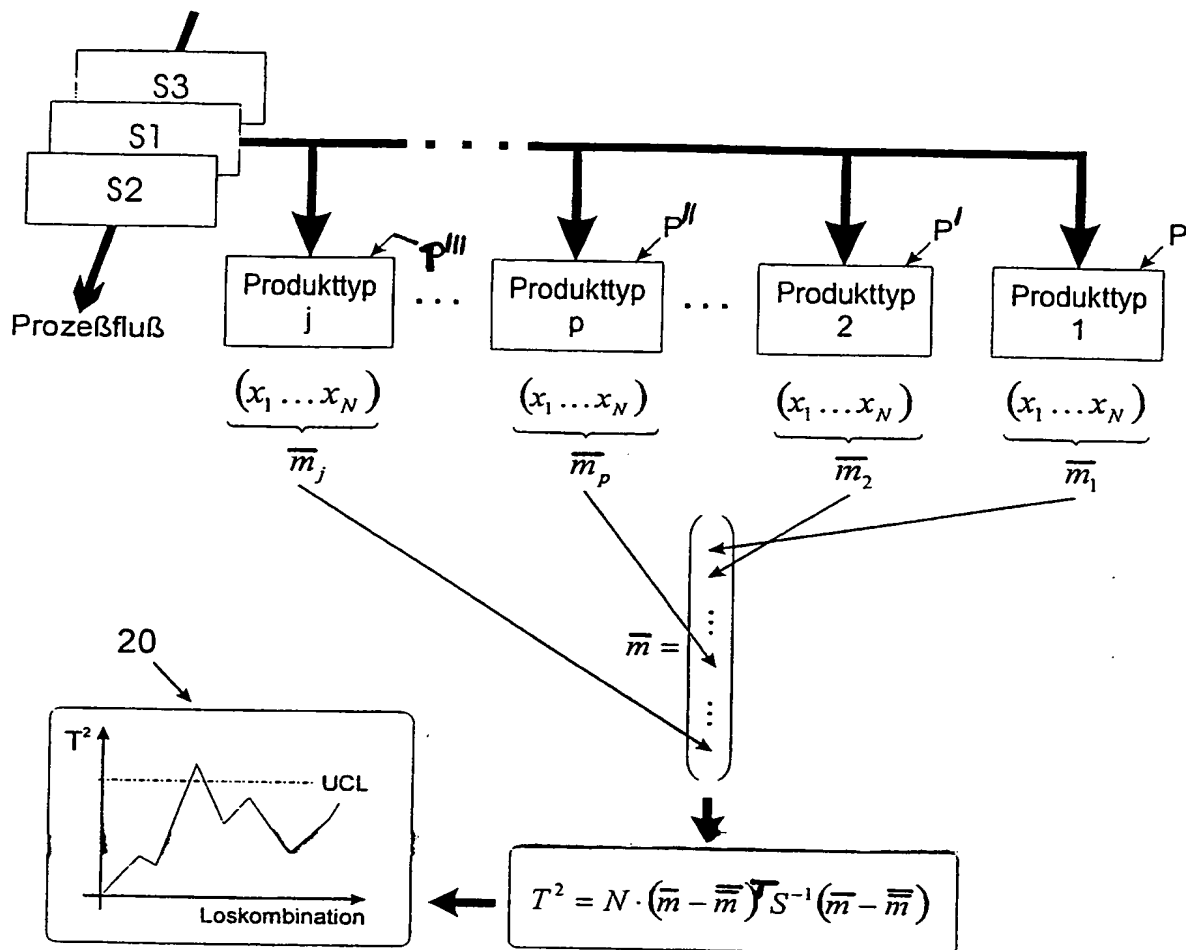
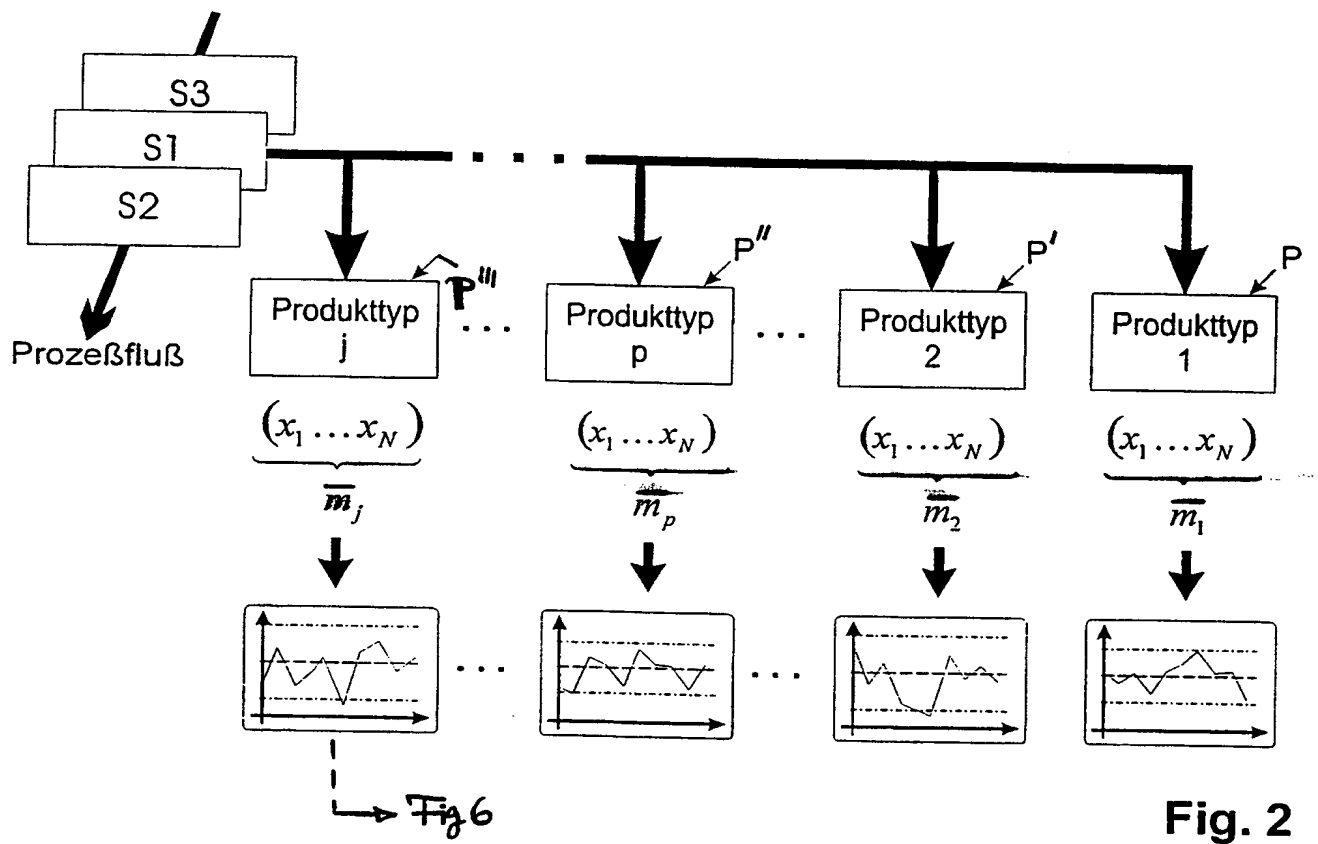


Fig. 1



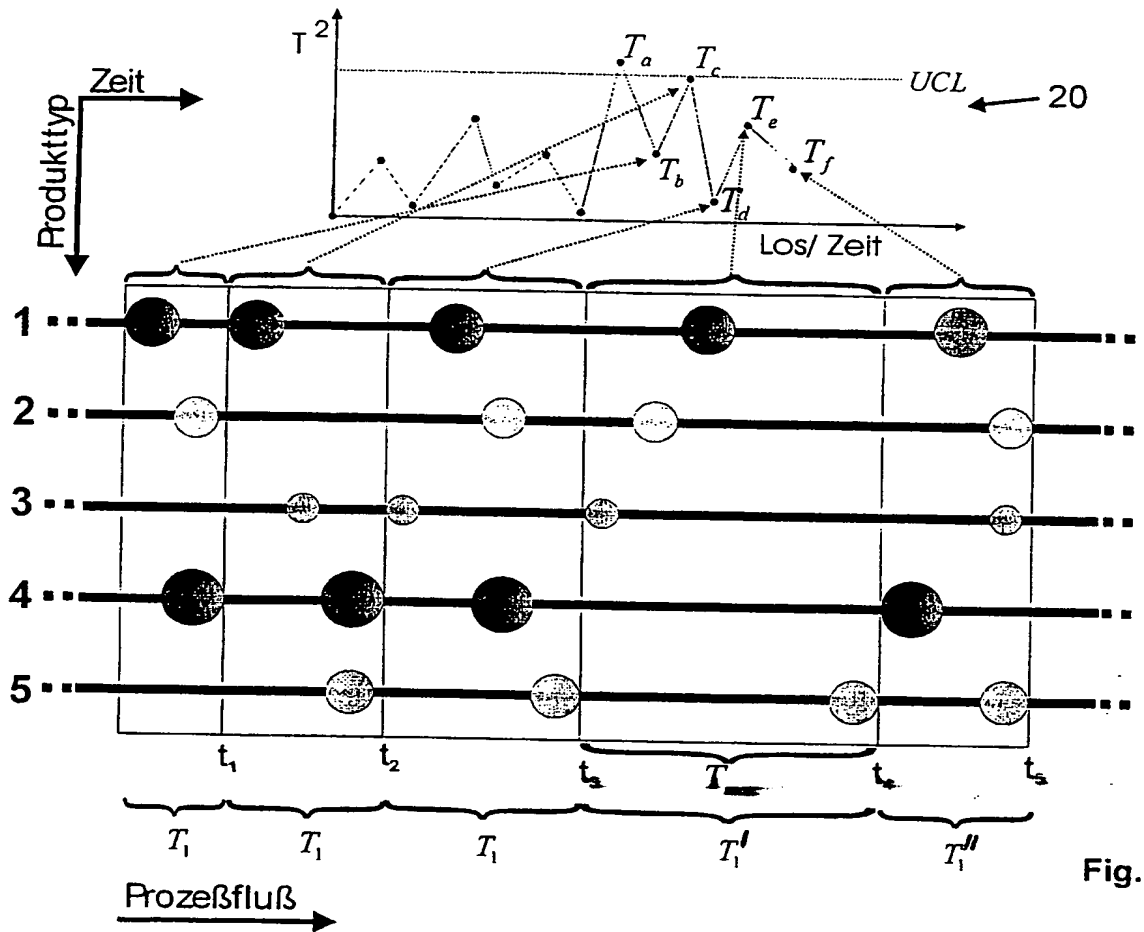


Fig.3

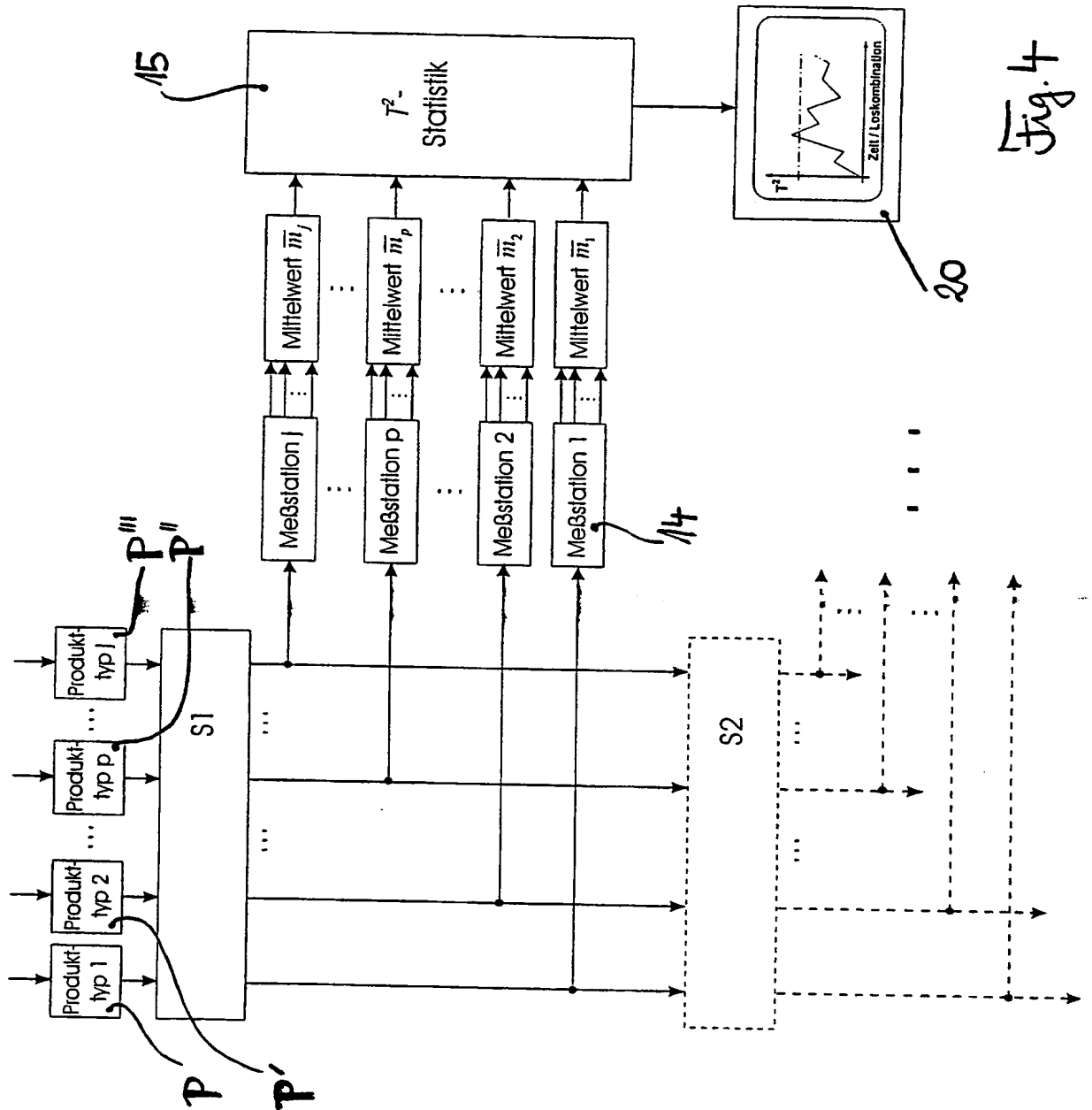


Fig. 4

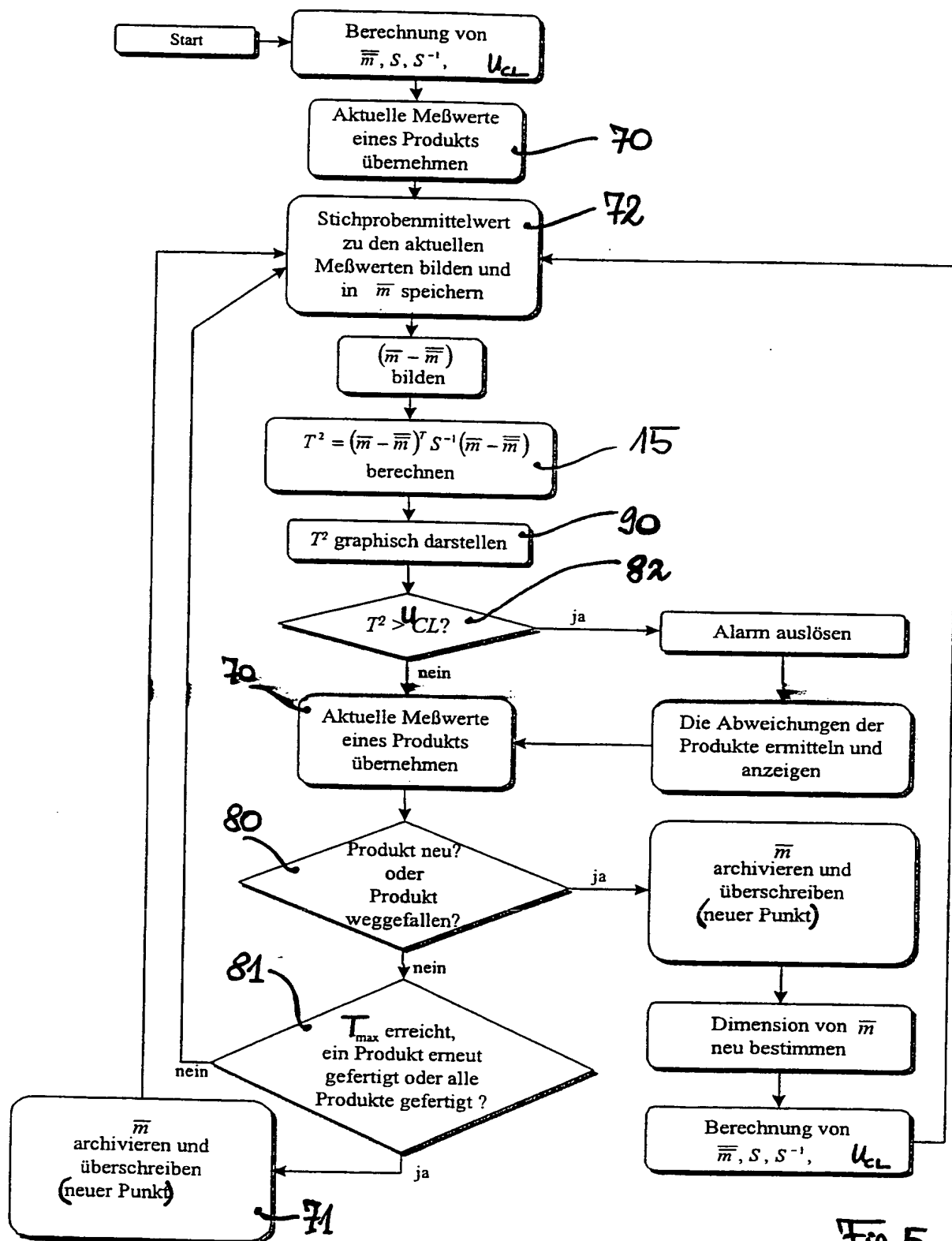


Fig. 5

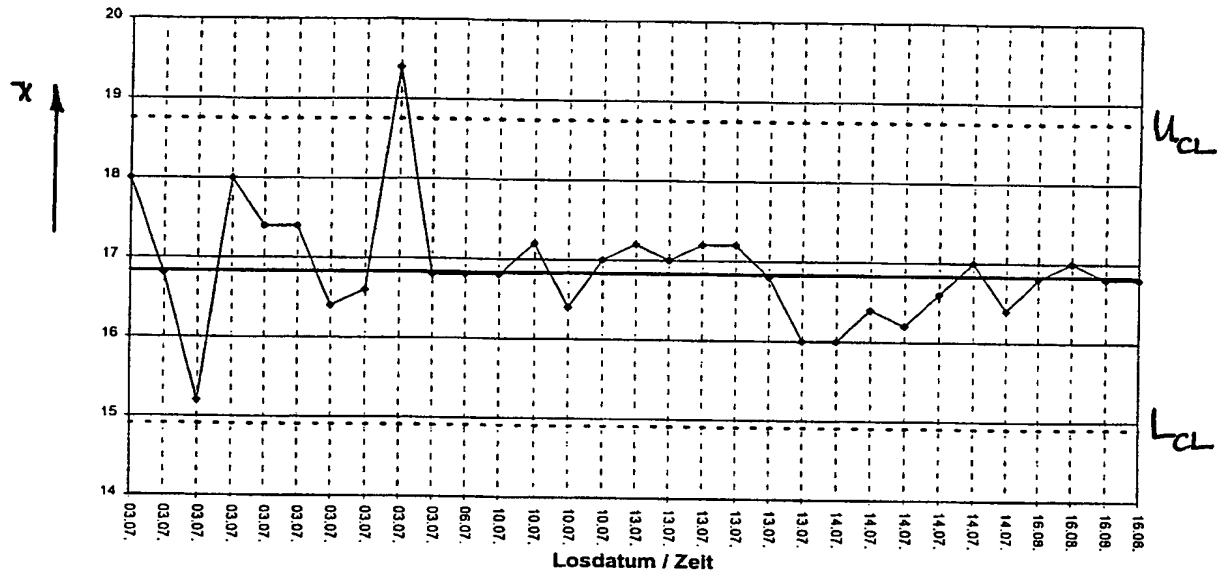
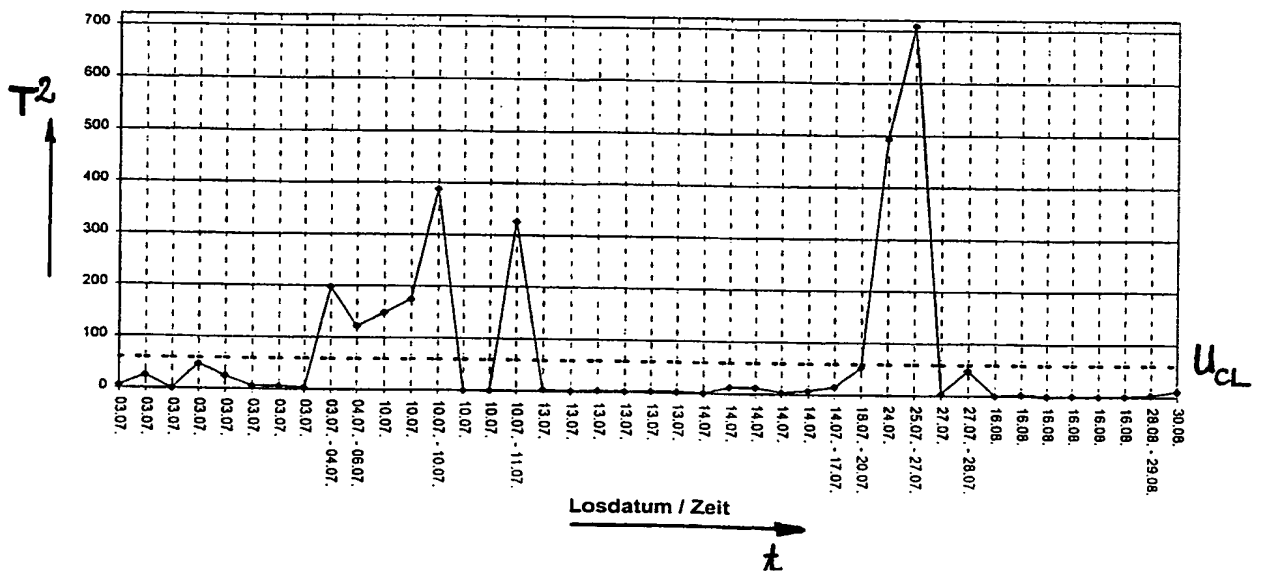


Fig. 6

Fig. 7



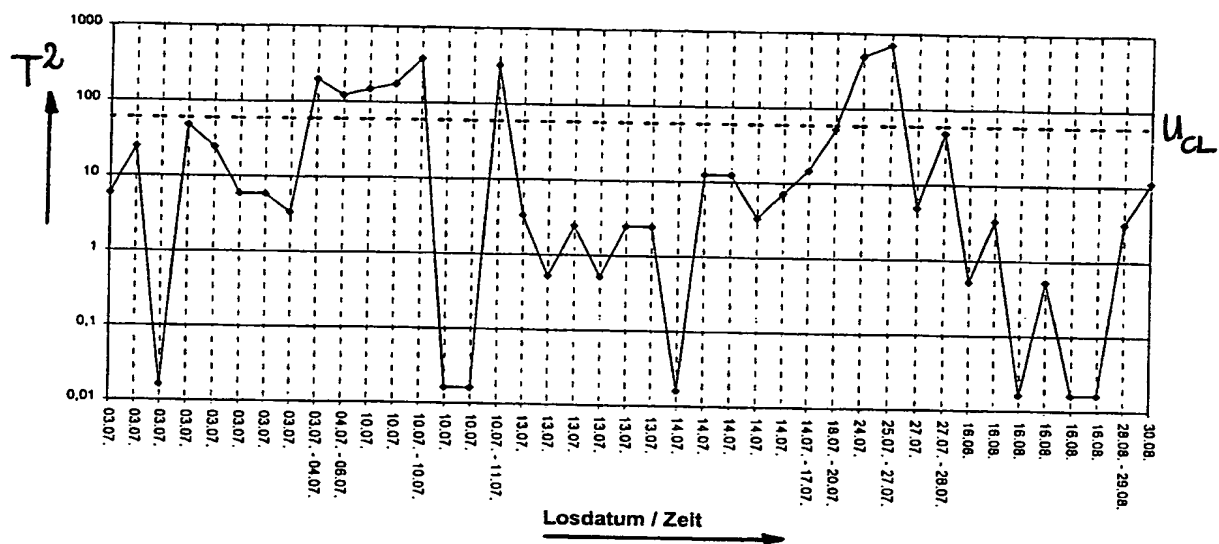


Fig. 8

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/DE 00/00144

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G05B19/418

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 479 340 A (FOX EDWARD P ET AL) 26 December 1995 (1995-12-26) column 2, line 23 -column 8, line 25; figures 1,2	1,3,5, 12,14,17
A	US 4 967 381 A (LANE LESLIE A ET AL) 30 October 1990 (1990-10-30) column 5, line 49 -column 39, line 37; figures 1,4-7	1-21
A	WO 98 18066 A (PHILIPS ELECTRONICS NV ; PHILIPS NORDEN AB (SE)) 30 April 1998 (1998-04-30) page 3, line 16 -page 9, line 23; figures 1-7	1-21

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"8" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 June 2000

Date of mailing of the international search report

30/06/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Tran-Tien, T

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 00/00144

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 715 181 A (HORST ROBERT L) 3 February 1998 (1998-02-03) abstract ---	1-21
A	US 5 440 478 A (FISHER GARY ET AL) 8 August 1995 (1995-08-08) abstract ---	1-21
A	GB 2 303 720 A (KODAK LTD) 26 February 1997 (1997-02-26) abstract ---	1-21
A	US 5 225 998 A (SINGHAL SUBHASH C) 6 July 1993 (1993-07-06) abstract -----	1-21

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No

PCT/DE 00/00144

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5479340	A	26-12-1995	NONE	
US 4967381	A	30-10-1990	US 4873623 A	10-10-1989
			US 4679137 A	07-07-1987
			US 4951190 A	21-08-1990
			EP 0200441 A	05-11-1986
			JP 62103702 A	14-05-1987
			US 4843538 A	27-06-1989
			US 4805089 A	14-02-1989
WO 9818066	A	30-04-1998	EP 0870218 A	14-10-1998
			JP 2000502517 T	29-02-2000
			US 5943237 A	24-08-1999
US 5715181	A	03-02-1998	NONE	
US 5440478	A	08-08-1995	NONE	
GB 2303720	A	26-02-1997	NONE	
US 5225998	A	06-07-1993	CA 2034421 A	27-09-1991
			CA 2034421 C	19-12-1995
			EP 0449476 A	02-10-1991
			JP 4223560 A	13-08-1992
			JP 7013827 B	15-02-1995

# INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 00/00144

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G05B19/418

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G05B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 479 340 A (FOX EDWARD P ET AL) 26. Dezember 1995 (1995-12-26) Spalte 2, Zeile 23 -Spalte 8, Zeile 25; Abbildungen 1,2	1,3,5, 12,14,17
A	US 4 967 381 A (LANE LESLIE A ET AL) 30. Oktober 1990 (1990-10-30) Spalte 5, Zeile 49 -Spalte 39, Zeile 37; Abbildungen 1,4-7	1-21
A	NO 98 18066 A (PHILIPS ELECTRONICS NV ; PHILIPS NORDEN AB (SE)) 30. April 1998 (1998-04-30) Seite 3, Zeile 16 -Seite 9, Zeile 23; Abbildungen 1-7	1-21

-/-

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

21. Juni 2000

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

30/06/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Tran-Tien, T

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 715 181 A (HORST ROBERT L) 3. Februar 1998 (1998-02-03) Zusammenfassung ---	1-21
A	US 5 440 478 A (FISHER GARY ET AL) 8. August 1995 (1995-08-08) Zusammenfassung ---	1-21
A	GB 2 303 720 A (KODAK LTD) 26. Februar 1997 (1997-02-26) Zusammenfassung ---	1-21
A	US 5 225 998 A (SINGHAL SUBHASH C) 6. Juli 1993 (1993-07-06) Zusammenfassung -----	1-21

# INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 00/00144

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5479340 A	26-12-1995	KEINE	
US 4967381 A	30-10-1990	US 4873623 A	10-10-1989
		US 4679137 A	07-07-1987
		US 4951190 A	21-08-1990
		EP 0200441 A	05-11-1986
		JP 62103702 A	14-05-1987
		US 4843538 A	27-06-1989
		US 4805089 A	14-02-1989
WO 9818066 A	30-04-1998	EP 0870218 A	14-10-1998
		JP 2000502517 T	29-02-2000
		US 5943237 A	24-08-1999
US 5715181 A	03-02-1998	KEINE	
US 5440478 A	08-08-1995	KEINE	
GB 2303720 A	26-02-1997	KEINE	
US 5225998 A	06-07-1993	CA 2034421 A	27-09-1991
		CA 2034421 C	19-12-1995
		EP 0449476 A	02-10-1991
		JP 4223560 A	13-08-1992
		JP 7013827 B	15-02-1995

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

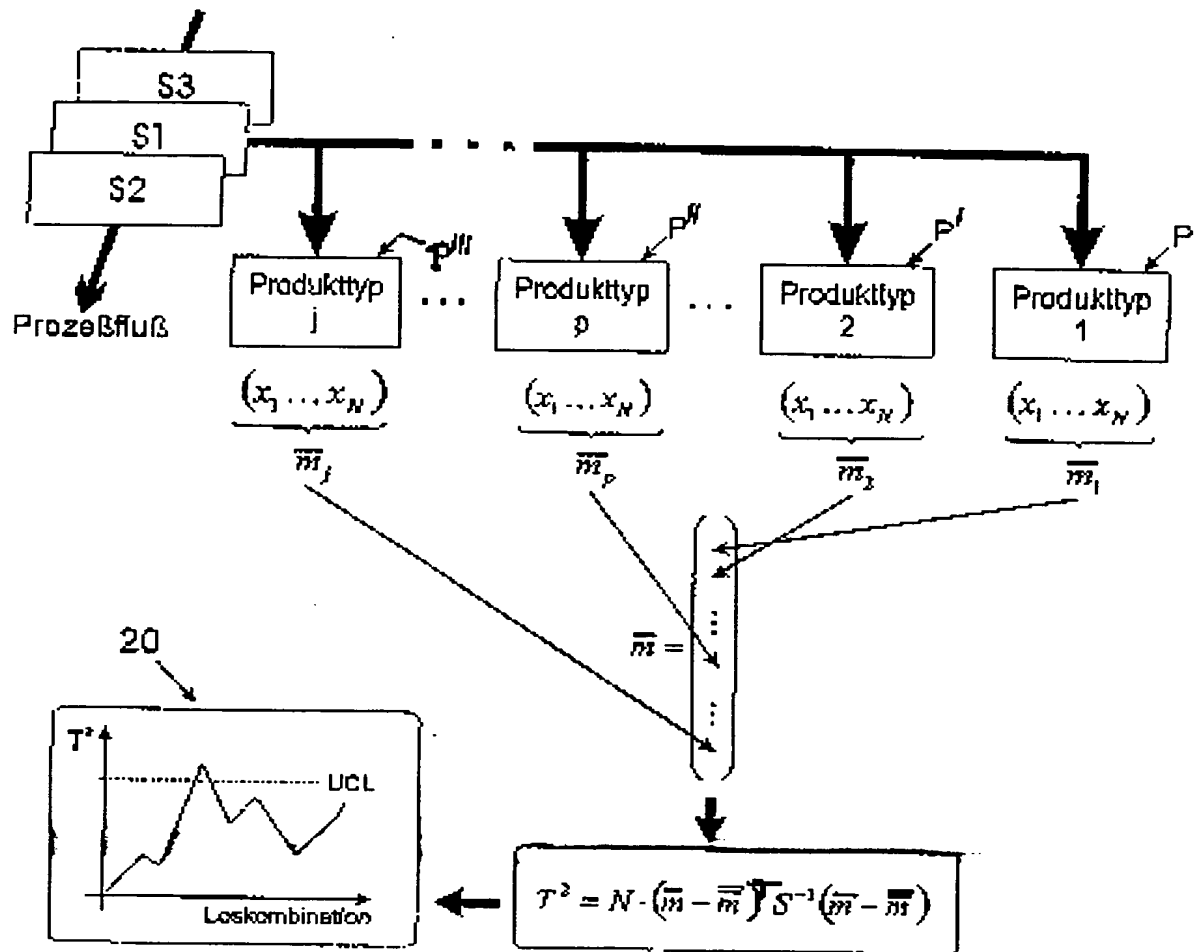
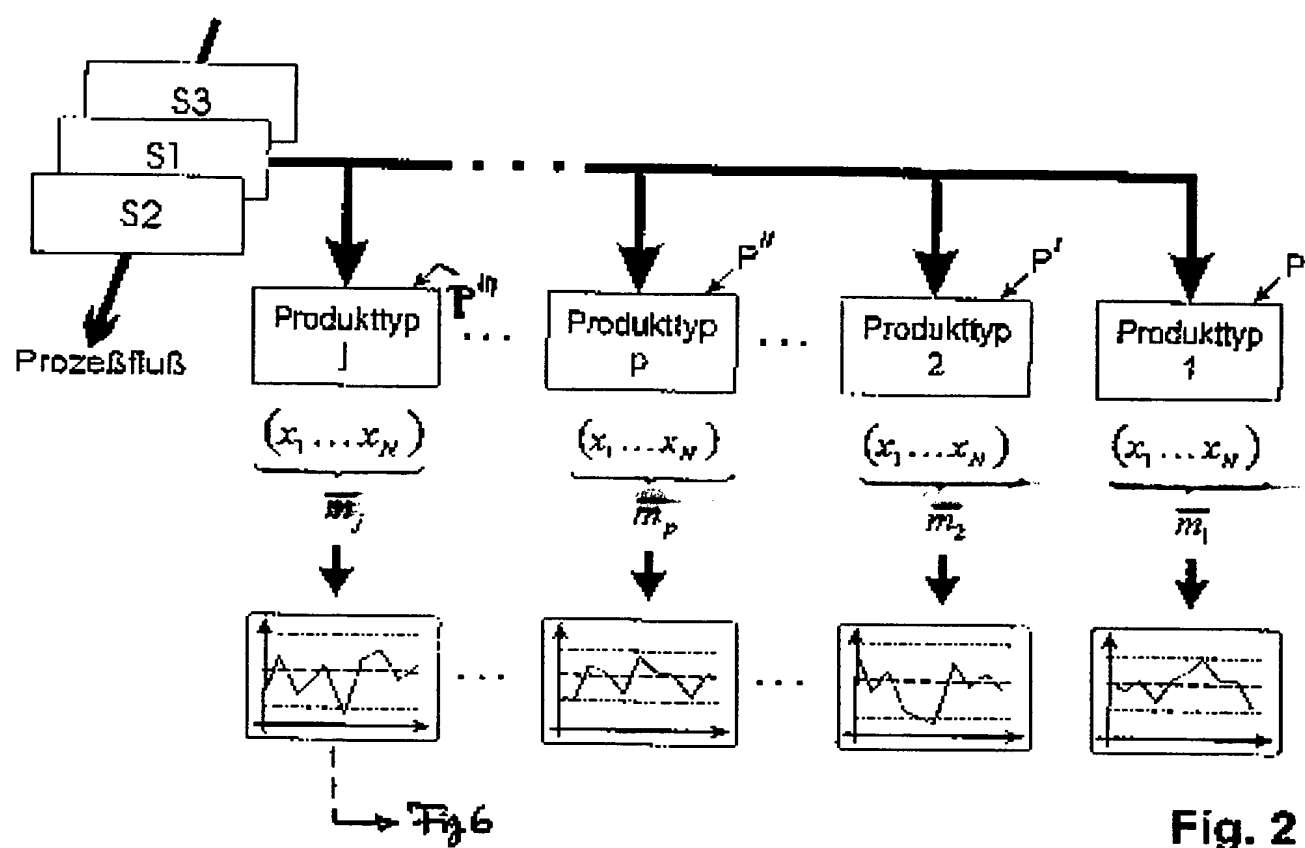


Fig. 1



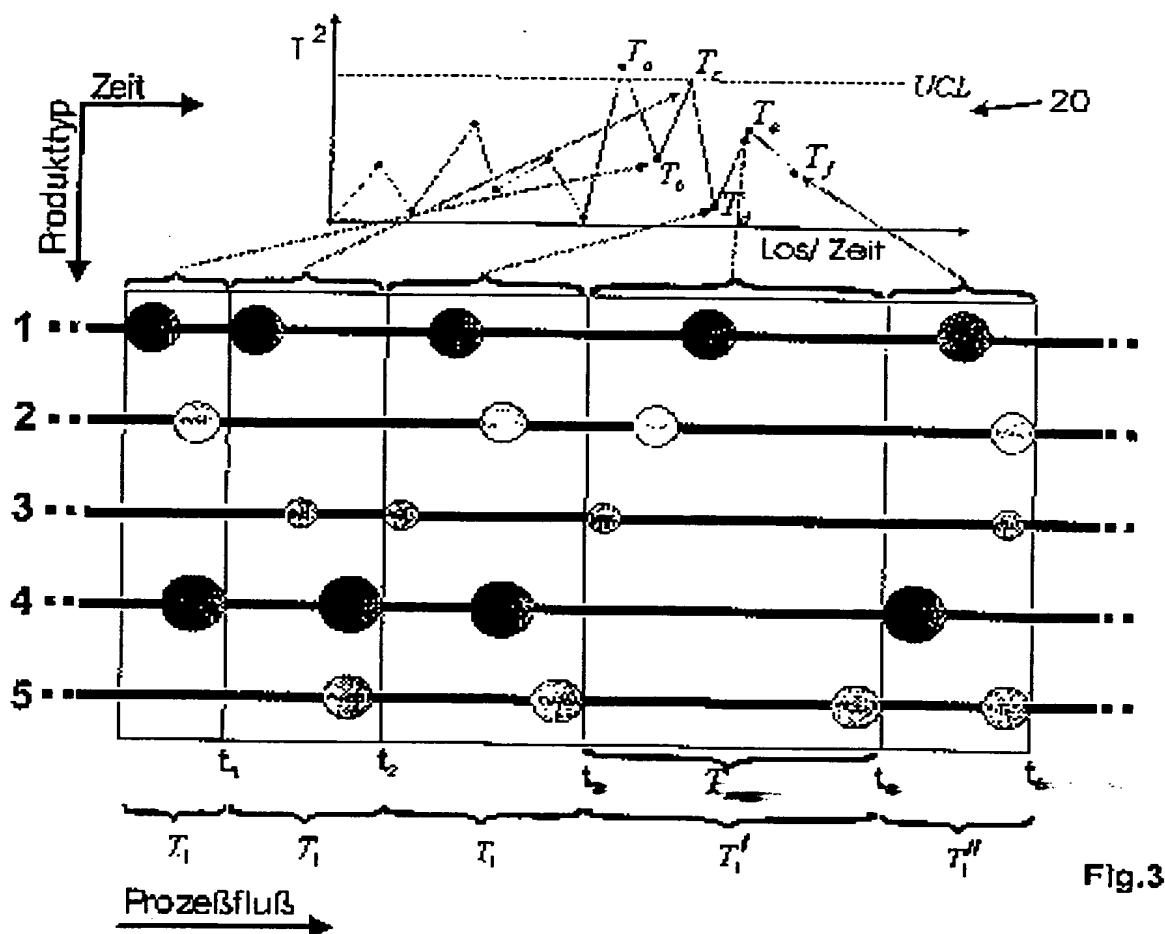
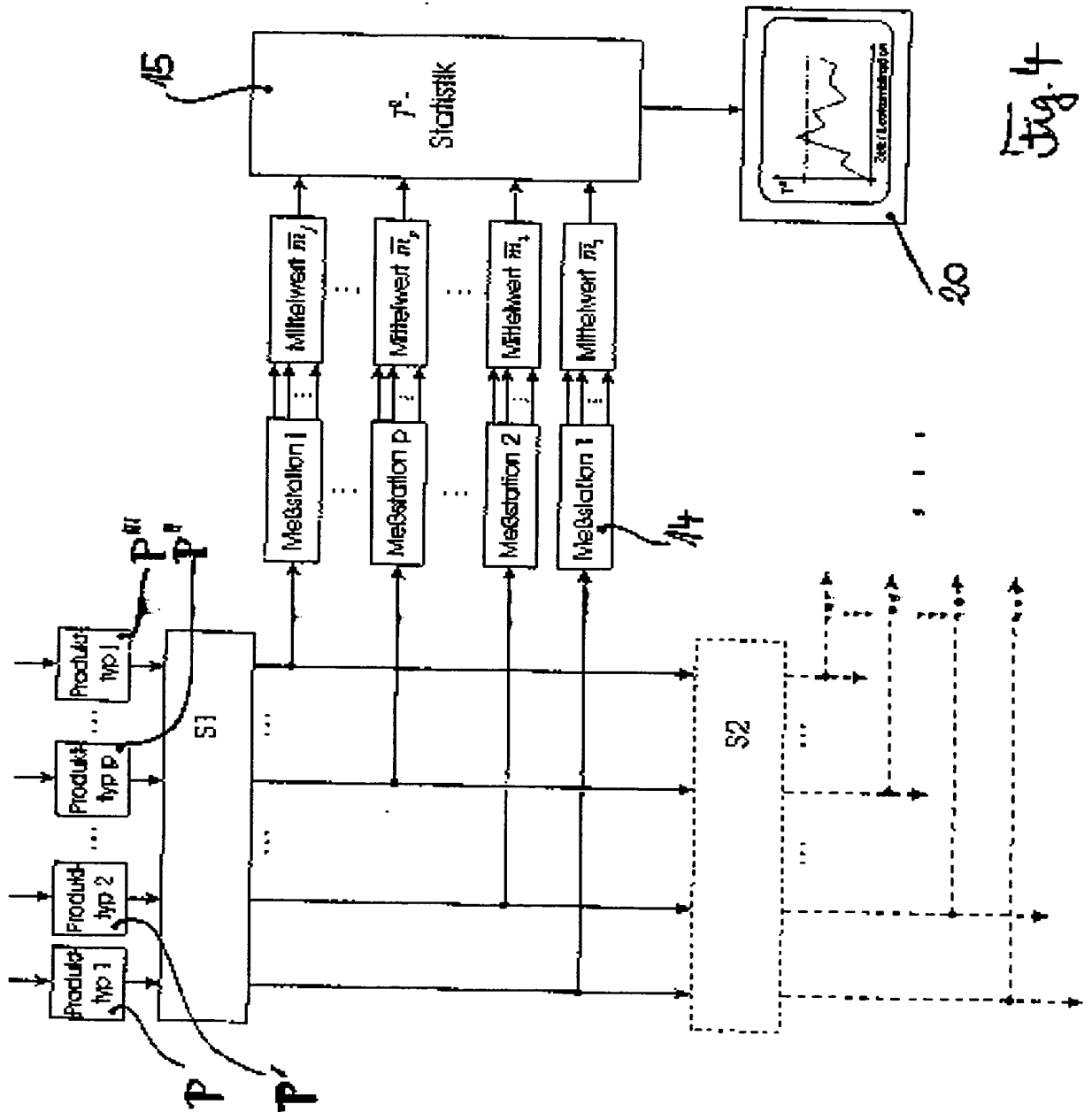


Fig.3



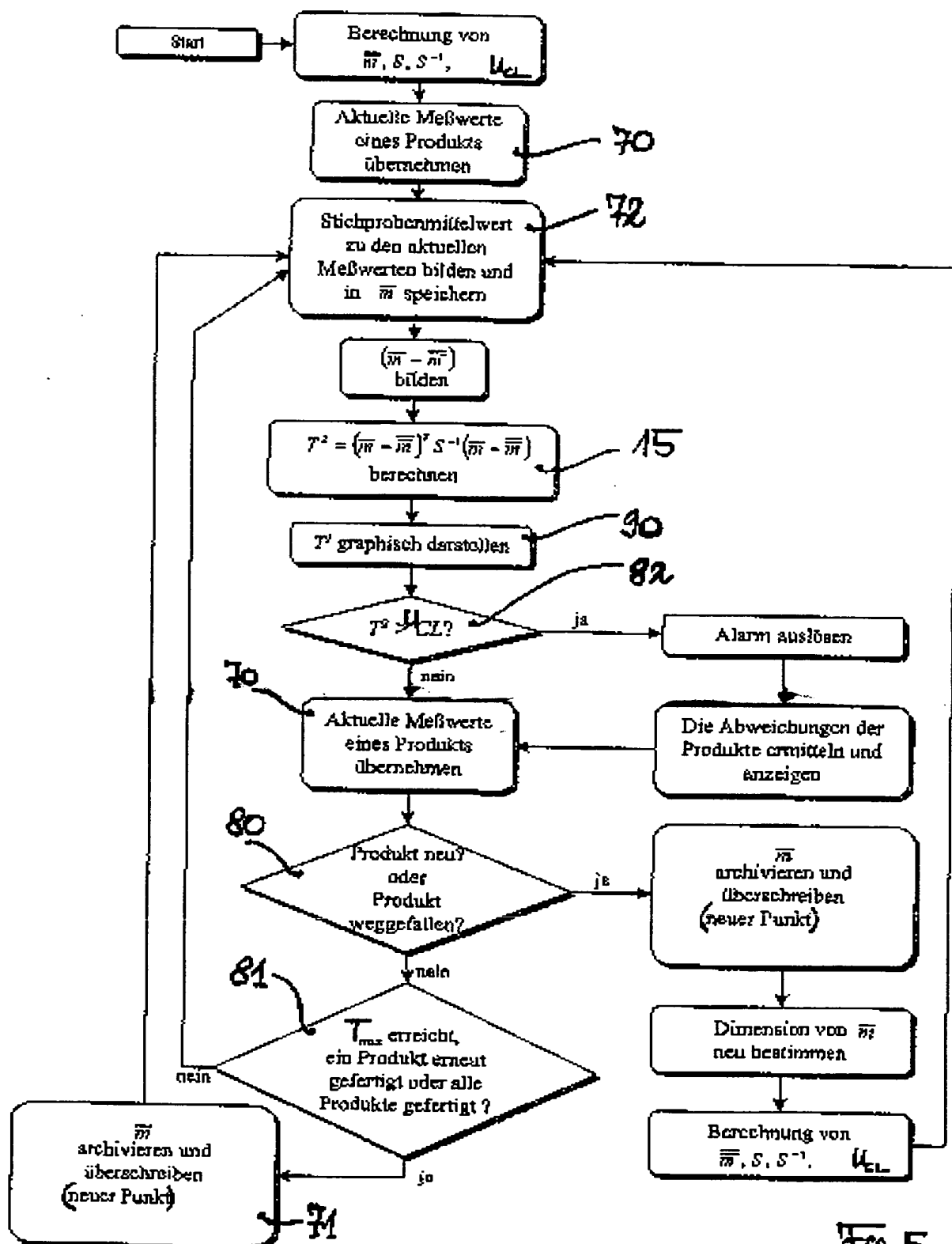


Fig. 5

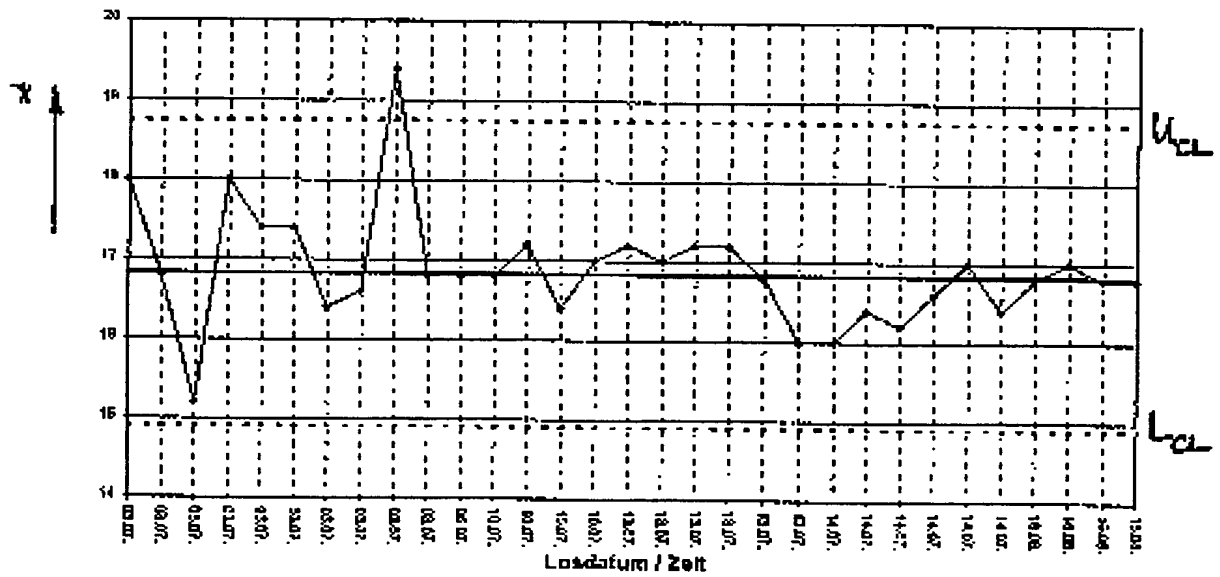
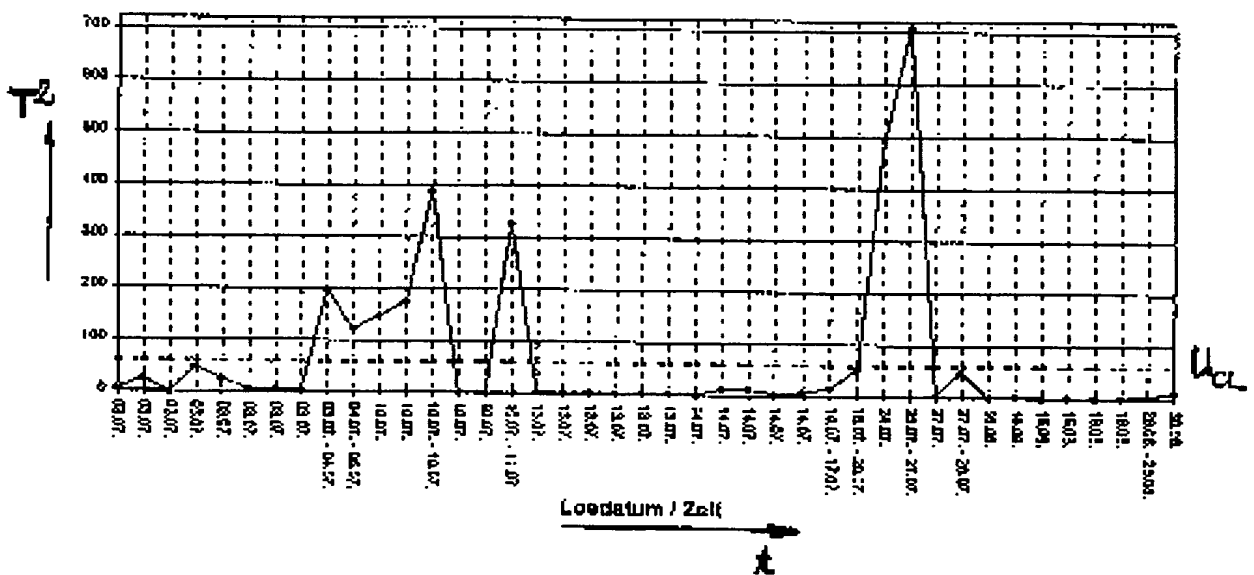


Fig. 6

Fig. 7



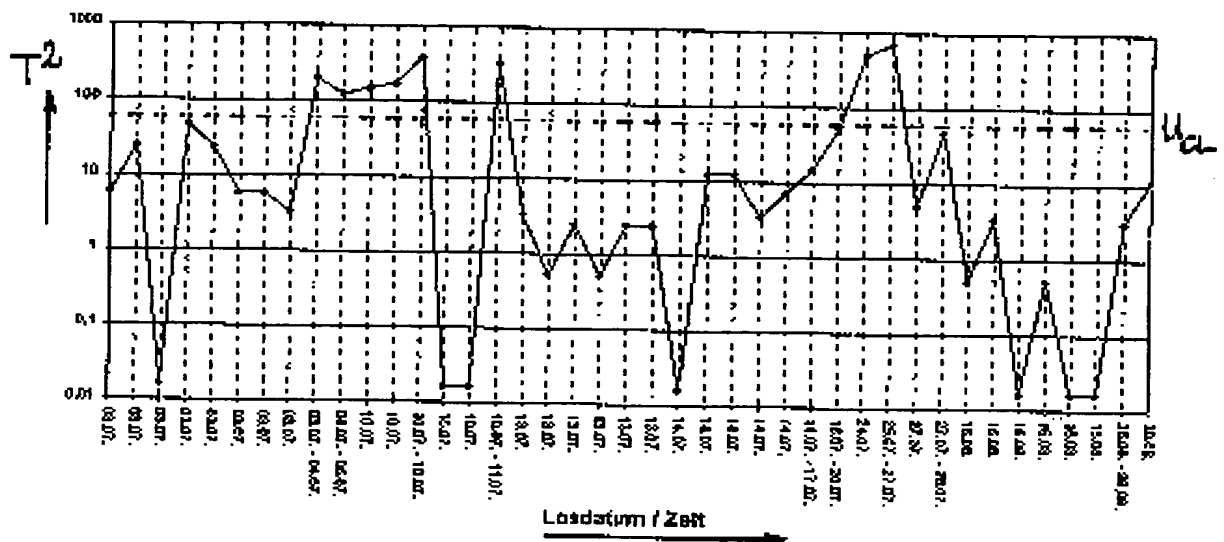


Fig. 8

THIS PAGE BLANK (USPTO)